

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Barbarić

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Ivan Barbarić

Zagreb, 2014.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se ujaku Radivoju Belobrajicu na stvaranju ideje, pomoći pri razvoju prototipa solarnog desalinizatora i financiranju razvoja jednostavnog solarnog kolektora. Isto tako se zahvaljujem profesoru Damiru Doviću na pruženoj pomoći prilikom dimenzioniranja sustava, optimizacije rada sustava i vođenju moga diplomskog rada.

Ivan Barbarić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Barbarić** Mat. br.: 0035172284

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Razvoj novog prototipa solarnog desalinizatora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Development of a new solar still prototype**

Opis zadatka:

U sklopu ovog diplomskog zadatka potrebno je izraditi idejno rješenje novog prototipa solarnog desalinizatora morske vode. Osnovni dijelovi desalinizatora su parabolični koncentrirajući kolektori sunčevog zračenja, izmjenjivači topline, pumpe, spremnik pitke vode.

U radu je potrebno:

- dati pregled vrsta, načina rada i tehničkih karakteristika u praksi korištenih solarnih desalinizatora
- dati izraze za proračun kapaciteta i učinkovitosti proizvodnje pitke vode
- provesti analizu utjecaja pojedinih radnih parametara na učinkovitost odabranog rješenja desalinizatora
- odrediti dimenzije svih prethodno navedenih dijelova za odabrani kapacitet
- izraditi tehničku dokumentaciju sa svim potrebnim crtežima za izradu prototipa

Potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

14. studenog 2013.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Damir Dović

Rok predaje rada:

16. siječnja 2014.

Predviđeni datumi obrane:

22., 23. i 24. siječnja 2014.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. PREGLED POSTOJEĆIH SUSTAVA ZA DESALINIZACIJU VODE.....	2
2.1.1. Destilacija	2
2.1.2. Destilacija pomoću solarne energije	3
2.1.3. Reverzna osmoza	4
2.1.4. Ionska izmjena	5
3. PROTOTIP SOLARNOG DESALINIZATORA.....	6
4. PRORAČUN SOLARNOG DESALINIZATORA	11
4.1. Podaci okoliša i radnog medija	11
4.2. Zadavanje promjenjivih parametara.....	13
4.3. Izračun toplinskih tokova.....	14
4.4. Pločasti izmjenjivač topline	15
4.4.1. Pločasti izmjenjivač topline proizvođača Alfa Laval	15
4.4.1.1. Isparivač.....	15
4.4.1.2. Kondenzator.....	17
4.4.2. Određivanje dimenzija potrebnog pločastog izmjenjivača	19
4.4.2.1. Izmjena topline pri jednofaznom strujanju	20
4.4.2.2. Izmjena topline pri dvofaznom strujanju	23
4.4.2.3. Dimenzije potrebnog izmjenjivača topline	28
4.5. Solarni sustav	29
4.5.1. Podaci o sustavu.....	29
4.5.2. Proračun toplinskih gubitaka kolektora	30
4.5.3. Spiralni izmjenjivač u spremniku	34
4.5.3.1. Prijenos topline spiralnog izmjenjivača	34
4.5.3.2. Dimenzije spiralnog izmjenjivača.....	35
4.5.3.3. Dimenzioniranje električnog grijača.....	36
4.5.4. Dimenzioniranje pumpi za vodu	37
4.5.4.1. Pumpa za solarni krug.....	37
4.5.4.2. Pumpa za krug morske vode	38
5. OPTIMIZACIJA SUSTAVA	39
6. SIMULACIJA RADA SUSTAVA.....	40
7. JEDNOSTAVAN MODEL SOLARNOG KOLEKTORA	46

8. ZAKLJUČAK.....	49
LITERATURA.....	50
PRILOZI.....	51

POPIS SLIKA

Slika 1. Shema frakcijske destilacije.....	2
Slika 2. Shema solarnog bazena.....	3
Slika 3. Shema reverzne osmoze.....	4
Slika 4. Shema ionske izmjene.....	5
Slika 5. Shema prototipa solarnog desalinizatora	6
Slika 6. Odvijanje procesa u T/s dijagramu	8
Slika 7. Shema sustava sa generatorom pare.....	9
Slika 8. Pločasti rekuperator.....	19
Slika 9. Shema 3 članka pločastog rekuperatora.....	21
Slika 10. Dijagram ovisnosti koeficijenta prolaza topline o protoku	27
Slika 11. Dijagram promjene učinkovitosti pri različitom intenzitetu sunčevog zračenja.....	32
Slika 12. Dijagram promjene učinkovitosti u ovisnosti o temperaturi apsorbera	33
Slika 13. Dijagram promjene učinkovitosti u ovisnosti o temperaturi okoliša	33
Slika 14. Usporedba insolacije u zimskom i ljetnom periodu.....	40
Slika 15. Omjer toplinskih tokova dovedenih spremniku - siječanj	41
Slika 16. Omjer potrošnje pojedinih potrošača - siječanj.....	42
Slika 17. Učinkovitost sustava - siječanj.....	42
Slika 18. Omjer toplinskih tokova dovedenih spremniku - srpanj	43
Slika 19. Omjer potrošnje pojedinih potrošača – srpanj	44
Slika 20. Učinkovitost sustava - srpanj	44
Slika 21. Usporedba učinkovitosti sustava kg/kWh.....	45
Slika 22. Usporedba učinkovitosti sustava kWh/m ³	45
Slika 23. Krivulja paraboličnog zrcala	46
Slika 24. Jednostavan prototip solarnog kolektora.....	47
Slika 25. Dijagramom prikazani rezultati mjerenja	48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrijednosti specifičnih točaka	8
Tablica 2. Usporedba potrošnje energije	10
Tablica 3. Optimizacija sustava	39
Tablica 4. Kapacitet sustava	40
Tablica 5. Vrijednosti za mjesec siječanj	41
Tablica 6. Vrijednosti za mjesec srpanj	43
Tablica 7. Rezultati mjerenja 23.8.2013	47
Tablica 8. Rezultati mjerenja 19.8.2013	48

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

- 1 Shema
- 2 Kolektor
- 3 Prazan spremnik
- 4 Spremnik sa ugrađenom opremom
- 5 Električni grijač
- 6 Spiralni izmjenjivač topline
- 7 Pločasti izmjenjivač topline

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
p	Pa	Tlak
T	K	Temperatura
ρ	kg/m ³	Gustoća
c_p	kJ/kg*K	Specifični toplinski kapacitet
λ	W/m*K	Toplinska vodljivost
ν	m ² /s	Kinematska viskoznost
η	kg/m*s	Dinamička viskoznost
Pr		Prandtlov broj
M	mol/kg	Molarna masa
h	kJ/kg	Specifična entalpija
r	kJ/kg	Specifična toplina isparavanja
x	kg _p /kg _{mv}	Maseni udio pare u koncentraciji
a	mm	Širina između članaka
b	mm	Širina pločastog izmjenjivača
b	mm	Visina pločastog izmjenjivača
d	mm	Promjer cijevi
k	mm	Hrapavost cijevi
A	mm ²	Površina
q _m	kg/s	Maseni protok
v	m/s	Brzina strujanja vode
Re		Reynoldsov broj
Nu		Nuseltov broj
ΔT	K	Razlika temperatura
α	W/m ² *K	Koeficijent prijelaza topline
k	W/m ² *K	Koeficijent prolaza topline
q	W/m ²	Gustoća toplinskog toka
Φ	W	Toplinski tok
P	W	Snaga
I	W/m ²	Insolacija
L	mm	Duljina
n		Broj dijelova

SAŽETAK**Tekst sažetka**

U radu je opisan postupak razvoja prototipa solarnog desalinizatora i optimizacije sustava. Predstavljena je metoda proračuna i dimenzije svih komponenti. Optimizacija se sastojala od promjene određenih parametara s ciljem dobivanja dimenzija komponenti pri kojima će sustav raditi sa maksimalnom učinkovitošću. Provedena je analiza rada sustava kroz sve mjesece u jednoj karakterističnoj godini. Napravljena je odgovarajuća tehnička dokumentacija sa svim potrebnim crtežima za izradu prototipa.

Ključne riječi:

desalinizacija, solarni kolektor, pločasti izmjenjivač, spiralni izmjenjivač, rekuperator, povrat topline, kompresor

SUMMARY**Abstract**

Work describes development and optimization of solar desalinization prototype. Work is divided into two parts. First part is about methods of calculation and dimensioning components, and second part is about system optimization. Thorough simulation of working parameters throughout one representative year and adequate technical documentation are presented in addendum.

Key words:

desalinization, solar collector, plate heat exchanger, spiral heat exchanger, recuperator, heat recovery, compressor

1. UVOD

Porastom stanovništva na svijetu i njegove djelatnosti dolazi do potrebe za novim izvorima energije, pa tako i pitke vode. Desalinizacija morske vode je jedan od alternativnih načina dobivanja vode za piće, a metoda je povoljna zbog velike dostupnosti sirovine. Iako je instalacija ovakvog pogona vrlo skupa, na desalinizaciju treba gledati prvenstveno kao na dobro dugoročno rješenje za područja kojima je pitka voda teško dostupna.

Postoji više vrsta postupaka desalinizacije. Dvije osnovne kategorije su toplinski i membranski procesi, ali u novije vrijeme postoje i mnoge eksperimentalne metode. Ipak, najčešće se pitka voda dobiva procesom reverzne osmoze. Toplinski postupci troše oko 20 kWh električne energije po kubičnom metru pitke vode, a membranski procesi troše oko 5 kWh električne energije po kubičnom metru pitke vode

Cilj ovog diplomskog rada je bio napraviti sustav za dobivanje pitke vode iz morske vode koji bi radio sa izrazitim malim energetske potrebama, a ukoliko se sustav pravilno dimenzionira sa odgovarajućom dodatnom opremom, rad sustava bi mogao biti u potpunosti autonoman. Ova autonomnost sustava je vrlo važna stavka jer nam omogućuje implementaciju na izolirana mjesta npr. otoci.

2. PREGLED POSTOJEĆIH SUSTAVA ZA DESALINIZACIJU VODE

2.1.1. Destilacija

Destilacija predstavlja tradicionalan način odsoljavanja morske vode. U osnovi se sastoji od zagrijavanja morske vode do temperature isparavanja, a nakon što dio morske vode ispari tu je paru potrebno ohladiti kako bi dobili vodu u kapljevitom stanju.

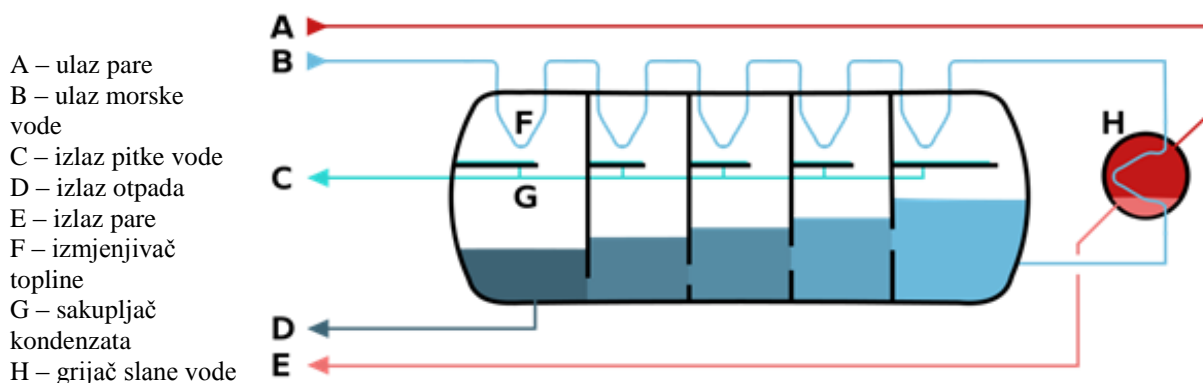
Postoje 4 vrste destilacije:

- isparavanje povezano s kondenzacijom;
- višefazna (frakcijska) destilacija u kojoj se odvaja destilat u različitim temperaturnim područjima;
- višestruka destilacija (destilira se više puta);
- kompresijska destilacija (pri povišenom tlaku).

Frakcijska destilacija

Sustav sadrži više komora koje se nazivaju faze. Svaka komora sadrži izmjenjivač topline i skupljač kondenzata. Niz ima vrući i hladni kraj dok su temperature u komorama uvijek između maksimalne i minimalne vrijednosti. Svaka komora se nalazi na tlaku koji odgovara temperaturi isparavanja koja pak ovisi o poziciji te komore u nizu. Na kraju vrućeg kraja se nalazi grijač morske vode.

Dok je sustav u pogonu hladna morska voda se cijevima provodi kroz svaku komoru, a služi kao rashladno sredstvo pari u svakoj komori. Kondenzacija pare u komori uzrokuje zagrijavanje morske vode u cijevima. Zagrijavanje morske vode rekuperacijom topline je poželjno jer smanjuje potrebnu toplinu grijača. Nakon što se grijačem morska voda dogrije do traženih vrijednosti ulazi u komoru te zbog smanjenog tlaka dolazi do isparavanja. Para kondenzira na hladnim cijevima, a zatim se taj kondenzat skuplja i odvođi. Produkt cijelog procesa je destilirana voda koja se daljnjim kemijskim postupcima obogaćuje mineralnim tvarima i može se koristiti za piće

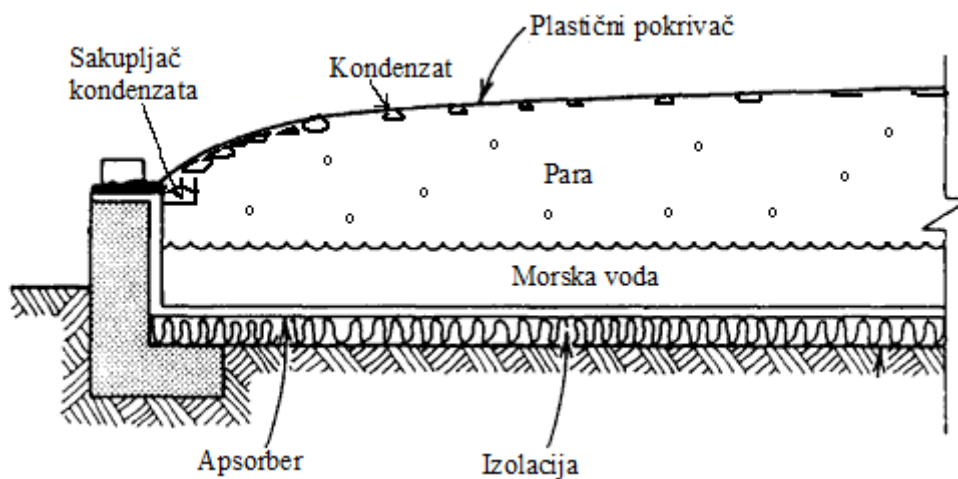


Slika 1. Shema frakcijske destilacije

2.1.2. Destilacija pomoću solarne energije

Destilacija pomoću solarne energije spada u prirodne kružne procese. Destilacija mora je prirodni proces koji se svakodnevno odvija, a ukoliko tu paru uspijemo prikupiti, dodatnim hlađenjem možemo dobiti čistu vodu (npr. princip nastajanja kiše). Dobivena voda potpuno je čista, ne sadrži nikakve čestice ni mikroorganizme.

Postupak radi i za vode s visokom koncentracijom soli. Radi se na relativno niskoj temperaturi od 85°C . Za ovaj postupak nije potrebna prethodna obrada vode. Unutar solarnih destilacijskih komora nema pokretnih dijelova, pa je ugradnja brza i održavanje jednostavno. Nedostatak solarne destilacije je skupo ulaganje jer su svi dijelovi sustava koji dolaze u dodir sa slanom vodom izrađeni od materijala otpornih na koroziju. Solarna destilacija ovisi o gustoći solarne energije i proizvodnja je nestalna, te time pogodna samo za male potrošače.

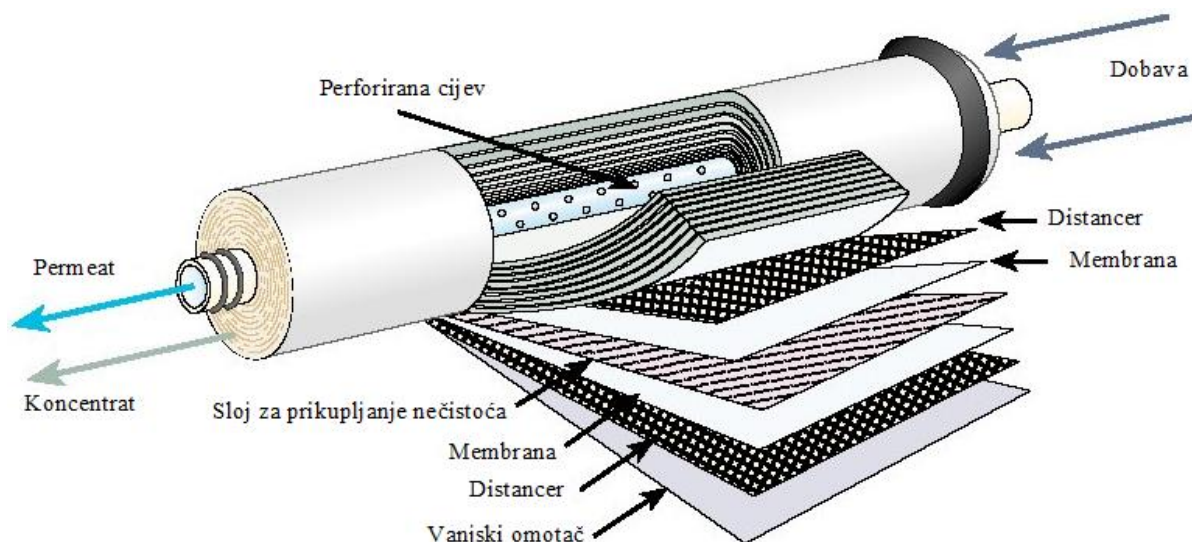


Slika 2. Shema solarnog bazena

2.1.3. Reverzna osmoza

Reverzna osmoza je postupak koji koristi polupropusnu membranu kako bi iz struje morske vode odvojio čistu vodu od soli. Kroz membranu prolazi čista voda, a voda obogaćena sa soli se odvodi cjevovodom nazad u more. Tlak morske vode mora biti oko 25 bar, što ovu metodu čini skupom za proizvodnju većih količina svježe vode. Kloridi, amonijak i ugljikov dioksid su male molekule pa prolaze polupropusnu membranu, te ih treba naknadno ukloniti aktivnim ugljenom. Neke bakterije i virusi također prolaze polupropusnu membranu, pa i njih treba dezinficirati (kloriranje, ozon, UV svjetiljka, solarna dezinfekcija).

Nakon poznatih načina pročišćavanje vode industrijskom filtracijom (gradski vodovod i tvornice), prokuhavanjem i kloriranjem, došlo se do tehnički skoro savršenog načina filtriranja vode, koji gotovo od svake zagađene vode može načiniti zdravu pitku vodu. Osmotske membrane koje se koriste u ovom postupku imaju toliko sitne otvore da kroz njih mogu proći gotovo samo molekule čiste vode, a sve nečistoće ostaju na membrani i izbacuju se preko odvoda kao tehnička otpadna voda. Ovakvim načinom filtracije vode, dobije se voda za piće visoke kvalitete.



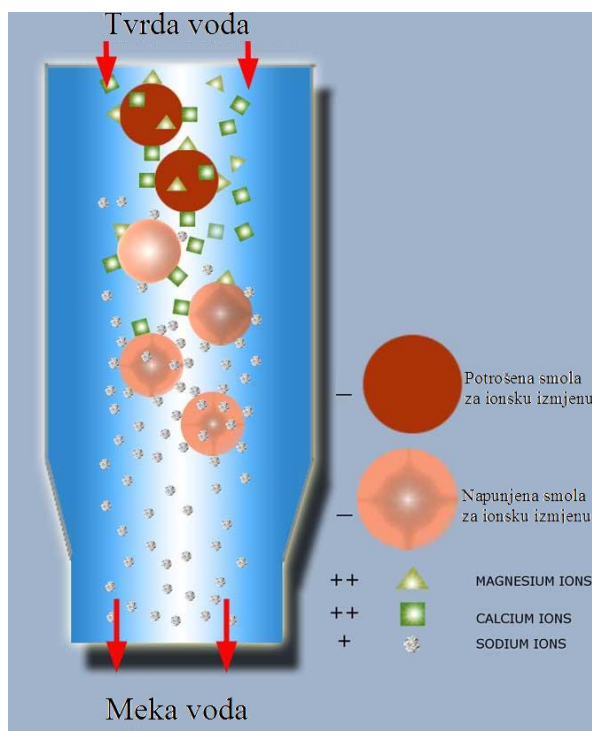
Slika 3. Shema reverzne osmoze

2.1.4. Ionska izmjena

Ionska izmjena je postupak koji uključuje upotrebu ionskih izmjenjivača koji mogu vezati ione iz otopine, a otpuštati jednaku (ekvivalentnu) količinu vlastitih iona. Ionski izmjenjivači su uglavnom visokopolimerni spojevi (postoje i mineralni).

Ionska izmjena je postupak pri kojem se koristi sposobnost određenih tvari da ione iz vlastite molekule zamijene za ione iz kapljevine. Ionski izmjenjivači su netopive visokomolekularne tvari (ionske smole), s pozitivnim ili negativnim nabojem, koje ione izmjenjuju bez vidljivih fizičkih promjena. Prema kemijskom sastavu ionski izmjenjivači mogu biti anorganski ili organski, te prirodni ili sintetski. S obzirom na ulogu dijele se na kationske ili anionske ionske izmjenjivače. Vanjski oblik ionske smole je različit, pa mogu biti u obliku cijevi, kuglica, vlakana ili membrane. Različiti zahtjevi pročišćavanja otpadne vode primjenom ionske izmjene pri uklanjanju neželjenih iona iz vode mogu se postići primjenom samo jedne vrste ionske smole ili kombinacijom više njih. Upotrebljavaju se za prečišćavanje različitih otopina, lijekova, omekšavanje ili demineraliziranje vode i drugo.

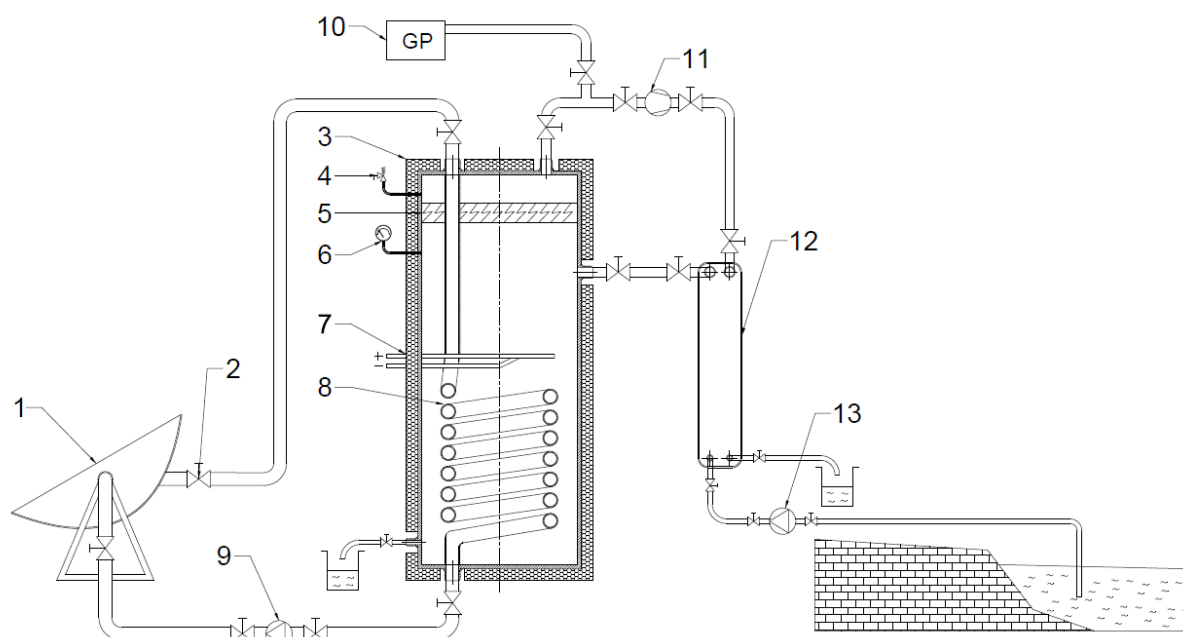
Prirodni anorganski alumosilikatni izmjenjivači su gline (npr. montmorilonit) i zeoliti (npr. analcit, kabazit), a sintetski gel permutiti (za omekšavanje vode). Prirodni organski izmjenjivači su npr. ugljeni i celuloza, koja je hidrofilne i porozne naravi, pa je izmjena iona brza. Ona može biti neobrađena ili obrađena uvođenjem izmjenjivačkih skupina. U modernoj laboratorijskoj praksi prirodni ionski izmjenjivači zamijenjeni su sintetskim produktima, ionskim smolama koje datiraju negdje od polovice 20. stoljeća. Važni su i sintetski gel izmjenjivači dobiveni iz poprečno vezanog dekstrana (Sephadex) ili poliakrilamida (Bio-Gel). To su i molekularna sita. Svi navedeni ionsko-izmjenjivački materijali netopljivi su u vodi, ali mogu izmjenjivati vlastite pokretljive protuione s ionima iz okolnog medija, npr. iz morske vode koja sadrži oko 0,7 mol/dm³ elektrolita.



Slika 4. Shema ionske izmjene

3. PROTOTIP SOLARNOG DESALINIZATORA

Prototip solarnog desalinizatora je sustav za dobivanje pitke vode, koji energiju potrebnu za isparavanje vode dobiva prvenstveno iz solarnog kolektora. Radi ostvarivanja učinkovitijeg rada u sustav se uvodi kompresor i rekuperator.



Slika 5. Shema prototipa solarnog desalinizatora

Glavne komponente sustava:

1. solarni kolektor
2. prigušni ventil
3. spremnik
4. sigurnosni ventil
5. separator kapljica
6. manometar
7. električni grijač
8. spiralni izmjenjivač topline
9. pumpa za solarni krug
10. generator pare
11. kompresor
12. rekuperator
13. pumpa za krug morske vode

Opis rada sustava

Morska voda se dovodi iz mora što bi značilo da je sustav najbolje pozicionirati blizu obale kako bi se što manje električne energije trošilo na rad pumpe. Ova voda se dovodi do pločastog rekuperatora.

Pločasti rekuperator je ključna komponenta sustava za desalinizaciju, zato jer o njemu ovisi učinkovitost cijelog sustava. Što se više topline uspije rekuperirati to će potreba za toplinskom energijom kolektora biti manja što znači da će nam trebati manja površina kolektora i pumpa manje snage. U rekuperator ulazi para stanja 1,5 bara koja se u potpunosti kondenzira i izlazi kao kapljevina pri temperaturi od 40°C. S druge strane rekuperatora ulazi morska voda temperature 15°C, a izlazi kao mješavina vrele kapljevine i suhozasićene pare pri temperaturi od 100°C. Ova mješavina se odvodi u spremnik, a količina masenog roka koji se pretvori u paru iznosi oko 65% masenog toka morske vode na ulazu u sustav.

Radni medij solarnog kruga je voda pri tlaku od 5 bara. Cilj pretlaka je podizanje temperature isparavanja kako bi voda u kolektoru uvijek bila u kapljevitom stanju. Srednja temperatura vode u kolektoru iznosi 130°C, a predaja toplinskog toka vode se vrši pomoću spiralnog izmjenjivača koji se nalazi unutar spremnika. Toplinski tok koji se dovodi morskoj vodi se koristi za isparavanje te iste vode. Tlaku u spremniku se održava na atmosferskom tlaku što znači da će se isparavanje odvijati pri temperaturi od 100°C. Količina isparene morske vode ovisi o toplinskom toku dovedenom preko solarnog kruga i toplinskom toku koji se dovodi preko rekuperatora. Ukoliko solarni krug nema dovoljno toplinskog toka za postizanje tražene količine pare, dolazi do uključivanja električnog grijača koji pokriva razliku. Traženi maseni tok pare iznosi 70% masenog toka morske vode na ulazu u sustav.

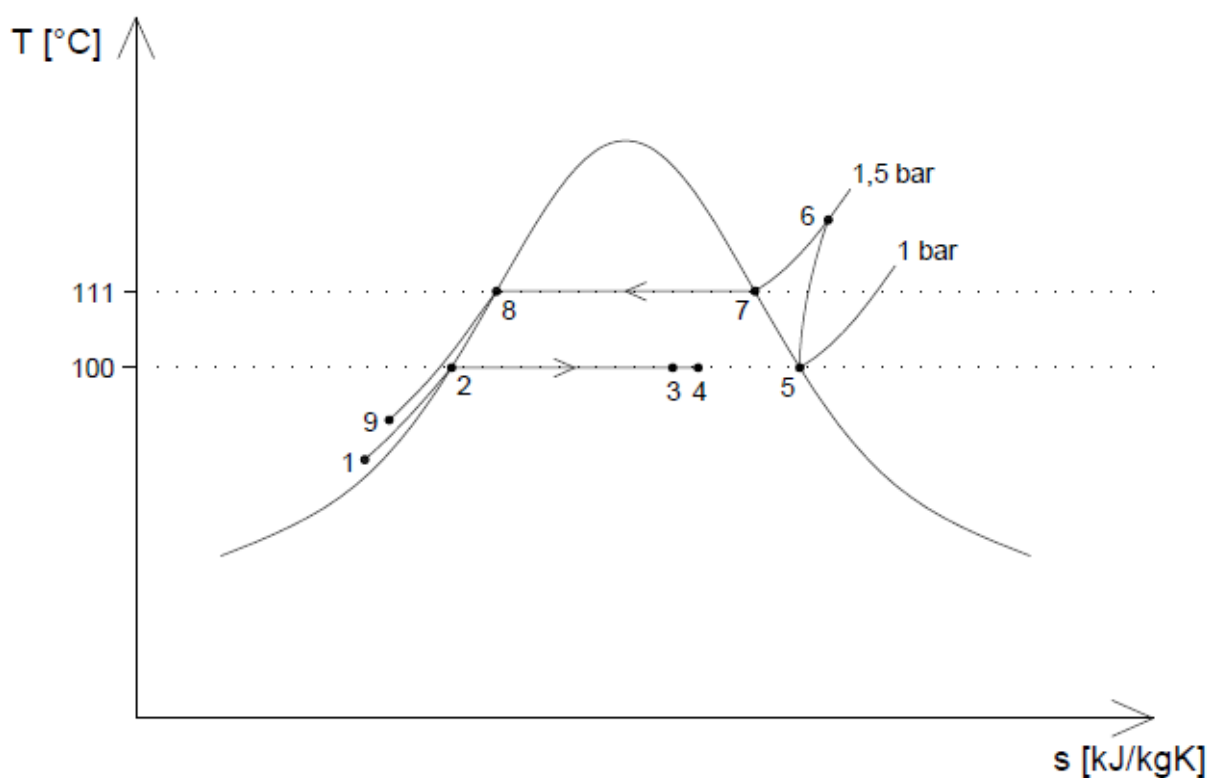
Para koja se stvara u spremniku se cjevovodom odvodi prema kompresoru. Prije kompresora para prolazi kroz separator kapljica kako bi se uklonila mogućnost hidrauličkog udara pri radu kompresora. Funkcija kompresora je podizanje radnog tlaka na 1,5 bara s ciljem povišenja temperature kondenzacije pare. Pri tlaku od 1,5 bara temperatura kondenzacije iznosi 111,35°C i sa ovim energetske nivoom para ulazi u rekuperator.

Na spremnik su montirani sigurnosni ventil i manometar. Funkcija sigurnosnog ventila je održavanje željene vrijednosti tlaka u spremniku kako ne bi došlo do porasta tlaka, a time i temperature zasićenja. Manometar služi za vizualnu provjeru tlaka u spremniku i provjeru rada sigurnosnog ventila.

Destilat koji se dobiva pohranjuje se u spremnike, a zatim je potrebno provesti proces obogaćivanja vode mineralnim tvarima. Proces se sastoji od protiskivanja vode kroz posude koje sadrže različite kamene i pjeskovite materijale (simulira se prolazak kišnice kroz razne slojeve zemlje).

Zamišljeno je da se voda obogaćena solju odvodi nazad u more, ali je moguće napraviti i sustav za prikupljanje te vode. Ova voda se može proliti na betonsku podlogu gdje će uslijed Sunca doći do isparavanja vode i ostati će nam samo sol. Na ovom principu rade prirodne solane jedino što se u njihovu slučaju koristi obična morska voda koji sadrži znatno manje soli.

Za pravilan rad sustava potrebno je napraviti regulaciju pomoću koje bi se svi parametri mogli neprestano regulirati i korigirati ovisno o potrebama.



Slika 6. Odvijanje procesa u T/s dijagramu

Tablica 1. Vrijednosti specifičnih točaka

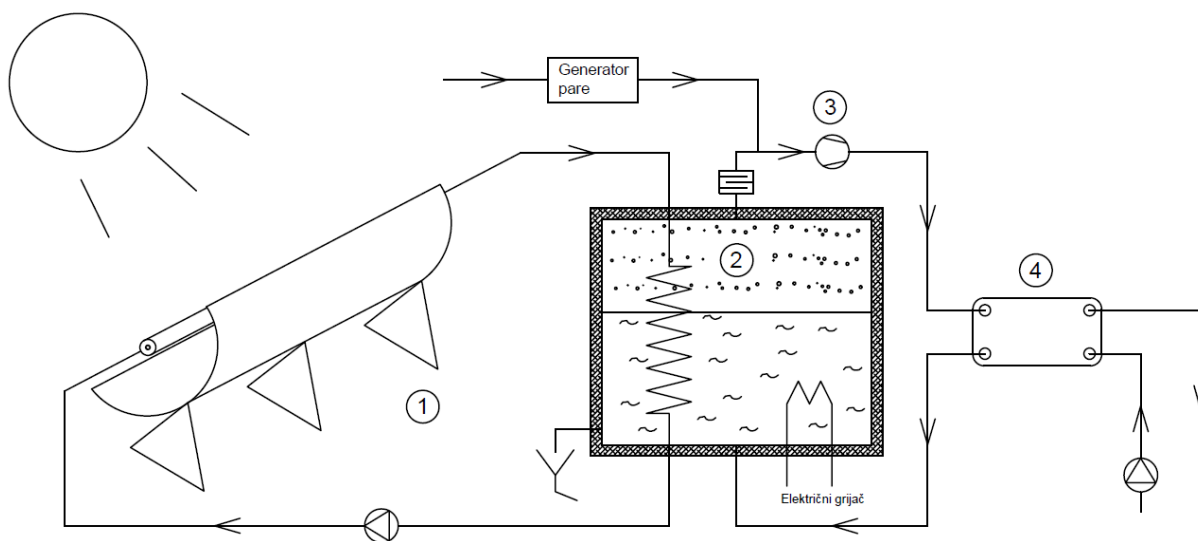
	Temperatura	Tlak	Entalpija	Udio pare
Oznaka	ϑ	p	h	x
Jedinica	°C	bar	kJ/kg	kg _p /kg _{mv}
1	15	1	62,98	0
2	100	1	419,10	0
3	100	1	1.855,00	0,65
4	100	1	1.975,00	0,7
5	100	1	2.675,57	1
6	130	1,5	2.732,07	1
7	111,35	1,5	2.693,01	1
8	111,35	1,5	466,84	0
9	40	1,5	167,67	0

Puštanje sustava u pogon

Kako je rad sustava međusobno zavisan o svim komponentama sustava, javlja se problem kada sustav treba započeti sa radom. Glavni problem predstavlja toplina potrebna za isparavanje morske vode koja se mora dobiti u rekuperatoru.

Kao rješenje ovom problemu u sustav se uvodi dodatni generator pare koji uz pomoć električnog grijača i spiralnog izmjenjivača topline koji se nalaze u spremniku ubrzava proces nastanka pare sve dok se ne ostvari traženi protok pare u iznosu od 0,014 kg/s.

U trenutku pokretanja sustava u spremniku se nalazi hladna voda koju je najprije potrebno dovesti do temperature isparavanja, a zatim dolazi do isparavanja vode. Nakon što u spremniku dođe do isparavanja pare doći će do porasta tlaka što će rezultirati otvaranjem sigurnosnog ventila. Otvaranjem sigurnosnog ventila smanjuje se količina pare u spremniku (povećavaju energetske gubitke sustava) i zato je poželjno da se u njemu održava atmosferski tlak. Ovo se ostvaruje pokretanjem kompresora koji usisava svu nastalu paru i potiskuje ju u pločasti izmjenjivač. Na početku rada količina pare koja ulazi u rekuperator će biti manja od tražene vrijednosti. Nedostatkom pare smanjuje se snaga rekuperatora što znači da će kolektor, električni grijač i generator pare morati pokriti taj nedostatak snage. Brzina stabilizacije radnih parametara sustava ovisi o snazi kolektora, električnog grijača i generatora pare.



Slika 7. Shema sustava sa generatorom pare

Usporedba sa konvencionalnim metodama dobivanja pitke vode

Tablica 2. Usporedba potrošnje energije

Postupak desalinizacije	Jedinica	Električna energija	Toplinska energija	Ukupna potrošnja izražena u el. energiji
Višefazna destilacija	kWh/m ³	4÷6	50÷110	13,5÷25,5
Višestruka destilacija	kWh/m ³	1,5÷2,5	60÷110	6,5÷11
Kompresijska destilacija	kWh/m ³	7÷12	0	7÷12
Reverzna osmoza	kWh/m ³	3÷5,5	0	3÷5,5
Prototip	kWh/m ³	16	55	32

Iz prethodne tablice bi se odmah moglo zaključiti da je prototip solarnog desalinizatora manje učinkovit od konvencionalnih sustava, i da ga ne bi trebalo razmatrati kao potencijalni sustav za desalinizaciju vode. No potrebno je uzeti u obzir i činjenicu da su ti sustavi u potpunosti usavršeni i dimenzionirani za velike kapacitete, a u praksi vrijedi pravilo da se efikasnost povećava s porastom kapaciteta.

Druga velika stavka koja bi mogla povećati efikasnost sustava je izbacivanje tradicionalnog kompresora na električni pogon i uvođenje Stirlingovog motora/kompresora. Ovaj kompresor ne koristi električnu energiju već se može pogoniti korištenjem toplinske energije. Veličina kolektora je u pravilu predimenzionirana zbog nekonstantne toplinske energije koju dobivamo od sunca. Višak toplinske energije koja se dobije na kolektoru moguće je iskoristiti za pokretanje Stirlingovog motora. U praksi temperature koje su potrebne za pokretanje Stirlingovog motora su znatno veće od onih koje možemo dobiti korištenjem naših kolektora, ali uvođenjem dodatnog sustava sa posebnim kolektorom ova ideja se može ostvariti.

Ako se iz sustava izbaci tradicionalni kompresor potrošnja za električnom energijom značajno opada. U ovom slučaju el. energiju će trebati pumpe i regulaciju, a kako je njihova potreba za energijom mala, moguće je na lokaciju ugraditi fotonaponske ćelije malih dimenzija koje će pokrivati njihove potrebe i omogućiti sustavu autonoman rad. Ova autonomnost sustava je idealna za male zajednice koje žive na izoliranim mjestima npr. otoci.

4. PRORAČUN SOLARNOG DESALINIZATORA

4.1. Podaci okoliša i radnog medija [1]

Okoliš

Temperatura zraka	$T_{\text{zr}} := \vartheta_{\text{zr}} + 273.15\text{K} = 293.15\text{K}$
Gustoća	$\rho_{\text{zr}} := 1.188\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Specifični toplinski kapacitet	$c_{\text{pzr}} := 1.00610^3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Toplinska vodljivost	$\lambda_{\text{zr}} := 25.59210^{-3}\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Kinematska viskoznost	$\nu_{\text{zr}} := 15.11\cdot 10^{-6}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{\text{zr}} := 18.20610^{-6}\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
Prandtllov broj	$\text{Pr}_{\text{zr}} := 0.71$

Vrela kapljevina 1 bar

Temperatura	$T_{\text{vk1}} := 373.15\text{K}$
Gustoća	$\rho_{\text{vk1}} := 958.4\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Specifični toplinski kapacitet	$c_{\text{pvk1}} := 4.21610^3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Toplinska vodljivost	$\lambda_{\text{vk1}} := 0.67910\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{\text{vk1}} := 281.7510^{-6}\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
Kinematska viskoznost	$\nu_{\text{vk1}} := \eta_{\text{vk1}} \cdot \rho_{\text{vk1}}^{-1} = 2.94 \times 10^{-7}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
Prandtllov broj	$\text{Pr}_{\text{vk1}} := 1.749$

Suhozasićena para 1 bar

Temperatura	$T_{\text{sp1}} := 373.15\text{K}$
Gustoća	$\rho_{\text{sp1}} := 0.5981\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Specifični toplinski kapacitet	$c_{\text{psp1}} := 2.077510^3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Toplinska vodljivost	$\lambda_{\text{sp1}} := 0.0251\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{\text{sp1}} := 12.2710^{-6}\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
Kinematska viskoznost	$\nu_{\text{sp1}} := \eta_{\text{sp1}} \cdot \rho_{\text{sp1}}^{-1} = 2.051 \times 10^{-5}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
Prandtllov broj	$\text{Pr}_{\text{sp1}} := 1.015$

Vrela kapljevina 1,5 bar

Temperatura	$T_{vk2} := \vartheta_{vk2} + 273.15K = 384.45K$
Gustoća	$\rho_{vk2} := 950.07 kg \cdot m^{-3}$
Specifični toplinski kapacitet	$c_{pvk2} := 4.232310^3 \cdot J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Toplinska vodljivost	$\lambda_{vk2} := 0.6819 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{vk2} := 251.9810^{-6} kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
Kinematska viskoznost	$\nu_{vk2} := \eta_{vk2} \cdot \rho_{vk2}^{-1} = 2.652 \times 10^{-7} m^2 \cdot s^{-1}$
Prandtllov broj	$Pr_{vk2} := 1.563!$

Suhozasićena para 1,5 bar

Temperatura	$T_{vk2} := \vartheta_{vk2} + 273.15K = 384.45K$
Gustoća	$\rho_{vk2} := 950.07 kg \cdot m^{-3}$
Specifični toplinski kapacitet	$c_{pvk2} := 4.232310^3 \cdot J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Toplinska vodljivost	$\lambda_{vk2} := 0.6819 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{vk2} := 251.9810^{-6} kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
Kinematska viskoznost	$\nu_{vk2} := \eta_{vk2} \cdot \rho_{vk2}^{-1} = 2.652 \times 10^{-7} m^2 \cdot s^{-1}$
Prandtllov broj	$Pr_{vk2} := 1.563!$

4.2. Zadavanje promjenjivih parametara [1]

Strana morske vode

Protok morske vode	$\dot{q}_{mmv} := 0.02 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$
Temperatura morske vode na ulazu	$T_{mv1} := \vartheta_{mv1} + 273.15 \text{ K} = 288.15 \text{ K}$
Entalpija morske vode na ulazu	$h_{mv1} := 4189 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \vartheta_{mv1} = 6.284 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Temperatura m.v. na izlazu	$T_{mv2} := 373.15 \text{ K}$

Temperatura isparavanja vode	$T_{isp} := 373.15 \text{ K}$
Entalpija vrele kapljevine za 1 bar	$h_{vk1} := 419.1 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Entalpija suhozasićene pare za 1 bar	$h_{sp1} := 2675.75 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Toplina isparavanja m.v	$r_{ispmv} := h_{sp1} - h_{vk1} = 2.257 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Strana pare

Tlak pare nakon kompresora	$p_{pp} := 1.5 \text{ bar}$
Temperatura pare nakon kom	$T_{pp} := \vartheta_{pp} + 273.15 \text{ K} = 403.15 \text{ K}$
Entalpija pare na ulazu u rekuperator	$h_{pp} := 2732.07 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Tlak destilata na izlazu iz rek.	$p_{de} := p_{pp} = 1.5 \text{ bar}$
Temperatura destilata na izlazu iz rek	$T_{de} := \vartheta_{de} + 273.15 \text{ K} = 313.15 \text{ K}$
Entalpija destilata na izlazu iz rek	$h_{de} := 167.67 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Entalpija destilata kao suhozas. para	$h_{sp2} := 2693.01 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Entalpija destilata kao vrele kap.	$h_{vk2} := 466.84 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Toplina isparavanja pare za 5 bar	$r_{ispp} := h_{sp2} - h_{vk2} = 2.226 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Sami zadajemo

Udio pretvorbe u paru finalno	$x_{kon} := 0.7$
Protok pare na ulazu u rek	$\dot{q}_{mp2} := \dot{q}_{mmv} x_{kon} = 0.014 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

4.3. Izračun toplinskih tokova [2]

Ukupni potrební tok

$$\Phi_{uk} := q_{mmv} \cdot (h_{vk1} - h_{mv1}) + q_{mp2} \cdot (h_{sp1} - h_{vk1}) = 38.718 \text{ kW}$$

Toplinski tok potreban za zagrijavanje morske vode do 100°C

$$\Phi_{zagmv} := q_{mmv} \cdot (h_{vk1} - h_{mv1}) = 7.125 \text{ kW}$$

Toplinski tok potreban za isparavanje morske vode

$$\Phi_{ispmv} := q_{mp2} \cdot (h_{sp1} - h_{vk1}) = 31.593 \text{ kW}$$

Ukupni toplinski tok predan na rekuperatoru

$$\Phi_{rekuk} := q_{mp2} \cdot (h_{pp} - h_{de}) = 35.902 \text{ kW}$$

Toplinski tok koji se oslobađa kondenzacijom pregrijane pare

$$\Phi_{kond} := q_{mp2} \cdot (h_{sp2} - h_{vk2}) = 31.166 \text{ kW}$$

Toplinski tok koji se oslobađa hlađenjem vrelog destilata

$$\Phi_{de} := q_{mp2} \cdot (h_{vk2} - h_{de}) = 4.188 \text{ kW}$$

Entalpija morske vode na kraju rekuperacije

$$h_{mv2} := \frac{q_{mmv} \cdot h_{mv1} + \Phi_{rekuk}}{q_{mmv}} = 1.858 \times 10^6 \cdot \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Udio morske vode koji je ispario u rekuperatoru

$$x_1 := \frac{q_{mmv} \cdot (h_{mv2} - h_{vk1})}{q_{mmv} \cdot (h_{sp1} - h_{vk1})} = 0.638$$

Toplinski tok koji je potrebno dovesti u spremnik

$$\Phi_{kol} := \Phi_{uk} - \Phi_{rekuk} = 2816.8 \text{ W}$$

Snaga kompresora

$$P_{kom} := q_{mp2} \cdot (h_{pp} - h_{sp1}) = 788.48 \text{ W}$$

4.4. Pločasti izmjenjivač topline

4.4.1. Pločasti izmjenjivač topline proizvođača Alfa Laval

4.4.1.1. Isparivač [3]

Podaci za isparivač CB52HX proizvođača Alfa Laval [4]

Širina izmjenjivača	$b_{ali} := 112\text{mm}$
Visina izmjenjivača	$c_{ali} := 526\text{mm}$
Duljina između lamela	$a_{ali} := 2.4\text{mm}$
Površina izmjene topline jednog kanala	$A_{ali} := b_{ali} \cdot c_{ali} \cdot 0.7 = 0.041\text{m}^2$
Površina jednog kanala	$A_{alikanal} := a_{ali} \cdot b_{ali} = 2.688 \times 10^{-4}\text{m}^2$
Volumen jednog kanala	$V_{ali} := A_{ali} \cdot a_{ali} = 9.897 \times 10^{-5}\text{m}^3$
Debljina lamele	$\delta_{ali} := 0.5\text{mm}$
Toplinska provodnost aluminija	$\lambda_{al} := 210\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Toplinski tok	$\Phi_{ali} := 40.8\text{kW}$
Broj članaka	$n_{ali} := 60$
Ukupna površina izmjene topline	$A_{aliuk} := A_{ali} \cdot (n_{ali} - 2) = 2.392\text{m}^2$
Srednja log razlika temp. u isparivaču	$\Delta T_{ali} := 7.5\text{K}$

Podaci za vodu koja služi kao ogrjevni medij [1]

Srednja temperatura vode	$T_{alisr} := 17.5\text{K}$
Temperaturna razlika	$\Delta T_{H2Oali} := 5\text{K}$
Gustoća	$\rho_{ali} := 998.7\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Specifični toplinski kapacitet	$c_{pali} := 4184\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Toplinska vodljivost	$\lambda_{ali} := 0.59392\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{ali} := 1069.5810^{-6}\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
Kinematska viskoznost	$\nu_{ali} := \eta_{ali} \cdot \rho_{ali}^{-1} = 1.071 \times 10^{-6}\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Prandtlov broj	$Pr_{ali} := 8.24$

Određivanje ekvivalentnog promjera

$$d_{\text{hali}} := \frac{2 \cdot a_{\text{ali}}}{1.2} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Maseni protok vode

$$q_{\text{mvali}} := \frac{\Phi_{\text{ali}}}{c_{\text{pali}} \cdot \Delta T_{\text{H2Oali}}} = 1.95 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Brzina strujanja vode

$$v_{\text{vali}} := \frac{q_{\text{mvali}}}{\rho_{\text{ali}} \left[A_{\text{alikanal}} \cdot \left(\frac{n_{\text{ali}}}{2} - 2 \right) \right]} = 0.259 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Određivanje koeficijenta prijelaza topline na strani vode

$$\text{Re}_{\text{ali}} := \frac{v_{\text{vali}} \cdot d_{\text{hali}}}{\nu_{\text{ali}}} = 969.076$$

$$\text{Nu}_{\text{ali}} := 0.3482 \text{Re}_{\text{ali}}^{0.6394} \cdot \text{Pr}_{\text{ali}}^{0.333} = 57.057$$

$$\alpha_{\text{H2Oali}} := \frac{\text{Nu}_{\text{ali}} \cdot \lambda_{\text{ali}}}{d_{\text{hali}}} = 8.472 \times 10^3 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

Koeficijent prolaza topline kroz isparivač

$$k_{\text{ali}} := \frac{\Phi_{\text{ali}}}{A_{\text{aliuk}} \cdot \Delta T_{\text{ali}}} = 2.274 \times 10^3 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani gdje se odvija isparavanje

$$\alpha_{\text{ispal}} := \frac{1}{\frac{1}{k_{\text{ali}}} - \frac{\delta_{\text{ali}}}{\lambda_{\text{al}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{H2Oali}}}} = 3.132 \times 10^3 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

4.4.1.2. Kondenzator [3]

Podaci za kondenzator CB51H proizvođača Alfa Laval [4]

Širina izmjenjivača	$b_{alk} := 112\text{mm}$
Visina izmjenjivača	$c_{alk} := 526\text{mm}$
Duljina između lamela	$a_{alk} := 2.4\text{mm}$
Površina izmjene topline jednog kanala	$A_{alk} := b_{alk} \cdot c_{alk} \cdot 0.7 = 0.041\text{m}^2$
Površina jednog kanala	$A_{alkkanal} := a_{alk} \cdot b_{alk} = 2.688 \times 10^{-4}\text{m}^2$
Volumen jednog kanala	$V_{alk} := A_{alk} \cdot a_{alk} = 9.897 \times 10^{-5}\text{m}^3$
Debljina lamele	$\delta_{alk} := 0.5\text{mm}$
Toplinska provodnost aluminija	$\lambda_{al} = 210 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$
Toplinski tok	$\Phi_{alk} := 40\text{kW}$
Broj članaka	$n_{alk} := 60$
Ukupna površina izmjene topline	$A_{alkuk} := A_{alk} \cdot (n_{alk} - 2) = 2.392\text{m}^2$
Srednja log razlika temp. u kondenzatoru	$\Delta T_{alk} := 7.5\text{K}$

Podaci za vodu koja služi kao rashladni medij [1]

Srednja temperatura vode	$T_{alksr} := 44.2\text{K}$
Temperaturna razlika	$\Delta T_{H_2Oalk} := 5\text{K}$
Gustoća	$\rho_{alk} := 991.2\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Specifični topl kapacitet	$c_{palk} := 4178\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Toplinska vodljivost	$\lambda_{alk} := 0.6340\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{alk} := 624.525 \cdot 10^{-6}\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
Kinematska viskoznost	$\nu_{alk} := \eta_{alk} \cdot \rho_{alk}^{-1} = 6.301 \times 10^{-7}\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Prandtllov broj	$Pr_{alk} := 4.117$

Određivanje ekvivalentnog promjera

$$d_{\text{halk}} := \frac{2 \cdot a_{\text{alk}}}{1.2} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Maseni protok vode

$$q_{\text{mvalk}} := \frac{\Phi_{\text{alk}}}{c_{\text{palk}} \cdot \Delta T_{\text{H2Oalk}}} = 1.915 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Brzina strujanja vode

$$v_{\text{valk}} := \frac{q_{\text{mvalk}}}{\rho_{\text{alk}} \cdot \left[A_{\text{alkkanal}} \cdot \left(\frac{n_{\text{alk}}}{2} - 2 \right) \right]} = 0.257 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Određivanje koeficijenta prijelaza topline na strani vode

$$\text{Re}_{\text{alk}} := \frac{v_{\text{valk}} \cdot d_{\text{halk}}}{\nu_{\text{alk}}} = 1.629 \times 10^3$$

$$\text{Nu}_{\text{alk}} := 0.3482 \text{Re}_{\text{alk}}^{0.6394} \cdot \text{Pr}_{\text{alk}}^{0.333} = 63.134$$

$$\alpha_{\text{H2Oalk}} := \frac{\text{Nu}_{\text{alk}} \cdot \lambda_{\text{alk}}}{d_{\text{halk}}} = 1.001 \times 10^4 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

Koeficijent prolaza topline kroz kondenzator

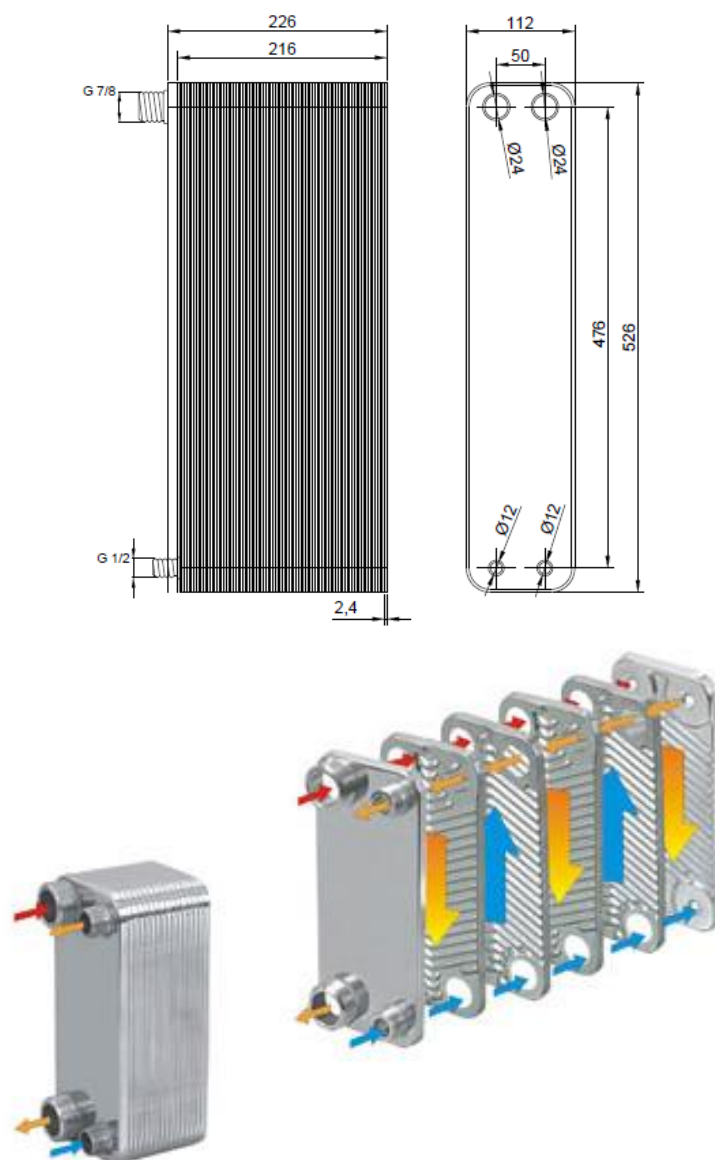
$$k_{\text{alk}} := \frac{\Phi_{\text{alk}}}{A_{\text{alkkuk}} \cdot \Delta T_{\text{alk}}} = 2.23 \times 10^3 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani gdje se odvija kondenzacija

$$\alpha_{\text{kondal}} := \frac{1}{\frac{1}{k_{\text{alk}}} - \frac{\delta_{\text{alk}}}{\lambda_{\text{al}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{H2Oalk}}}} = 2.889 \times 10^3 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

4.4.2. Određivanje dimenzija potrebnog pločastog izmjenjivača [4]

Širina izmjenjivača	$b_1 := 112\text{mm}$
Visina izmjenjivača	$c_1 := 526\text{mm}$
Duljina između lamela	$a_1 := 2,4\text{mm}$
Površina izmjene topline jednog kanala	$A_1 := b_1 \cdot c_1 \cdot 0,7 = 0,041\text{m}^2$
Površina jednog kanala	$A_{1\text{kanal}} := a_1 \cdot b_1 = 2,688 \times 10^{-4}\text{m}^2$
Volumen jednog kanala	$V_1 := A_1 \cdot a_1 = 9,897 \times 10^{-5}\text{m}^3$
Debljina lamele	$\delta_1 := 0,5\text{mm}$
Toplinska provodnost titana	$\lambda_{\text{ti}} := 17\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$



Slika 8. Pločasti rekuperator

4.4.2.1. Izmjena topline pri jednofaznom strujanju [3]

Podaci za vodu koja se grije (morska voda) [1]

Srednja temperatura vode	$T_{\text{vsr1}} := \vartheta_{\text{vsr1}} + 273.15\text{K} = 333.15\text{K}$
Gustoća	$\rho_{\text{vsr1}} := 978.3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Specifični toplinski kapacitet	$c_{\text{pvsr1}} := 4.182 \cdot 10^3 \cdot \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Toplinska vodljivost	$\lambda_{\text{vsr1}} := 0.654\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{\text{vsr1}} := 466.4 \cdot 10^{-6} \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
Kinematska viskoznost	$\nu_{\text{vsr1}} := \eta_{\text{vsr1}} \cdot \rho_{\text{vsr1}}^{-1} = 4.767 \times 10^{-7} \cdot \text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
Prandtllov broj	$\text{Pr}_{\text{vsr1}} := 2.98$

Podaci za vodu koja se hladi (pitka voda) [1]

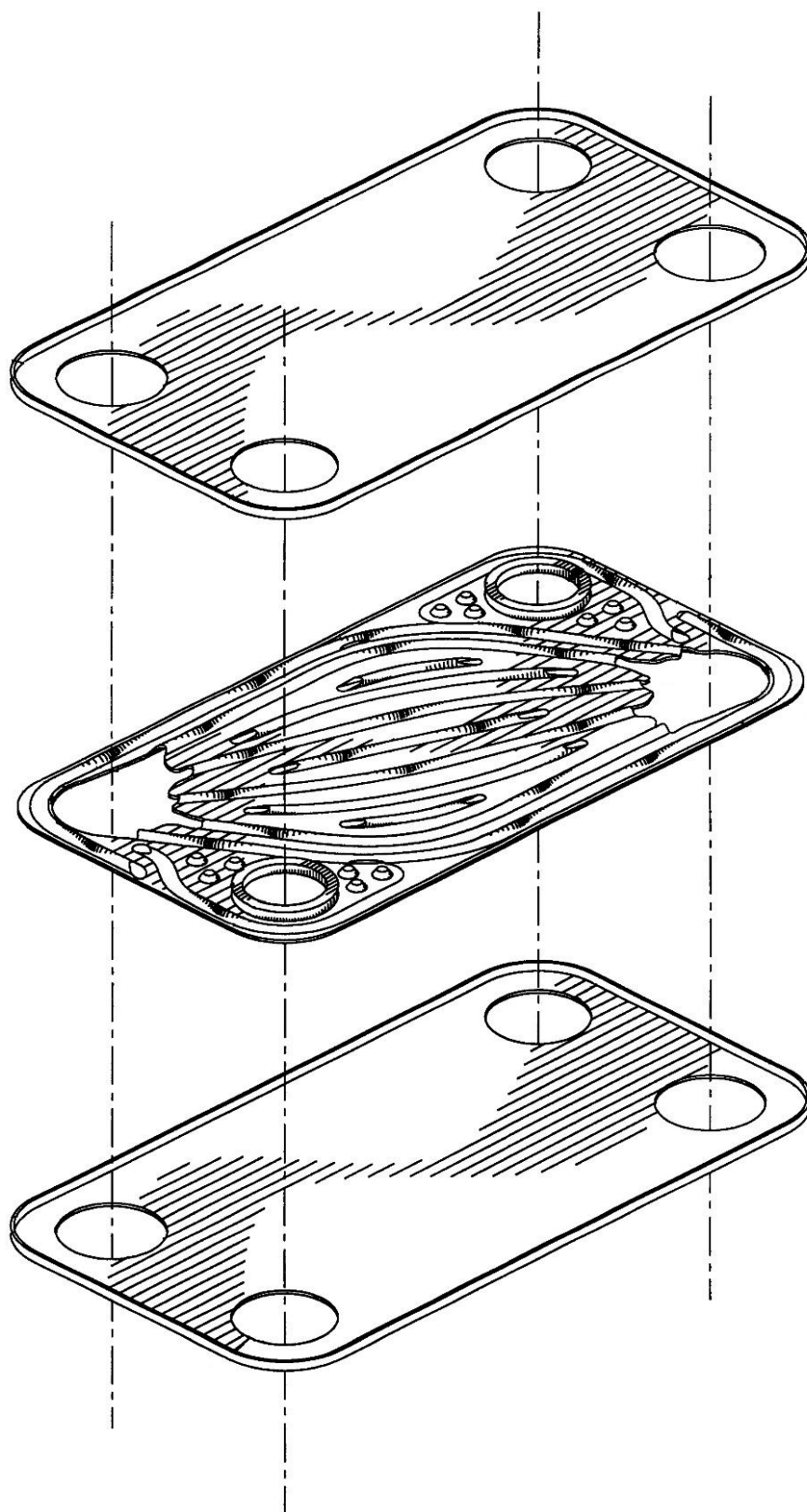
Srednja temperatura vode	$T_{\text{vsr}} := \vartheta_{\text{vsr2}} + 273.15\text{K} = 363.15\text{K}$
Gustoća	$\rho_{\text{vsr2}} := 965.34\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Specifični toplinski kapacitet	$c_{\text{pvsr2}} := 4.205 \cdot 10^3 \cdot \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Toplinska vodljivost	$\lambda_{\text{vsr2}} := 0.675\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{\text{vsr2}} := 314.44 \cdot 10^{-6} \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
Kinematska viskoznost	$\nu_{\text{vsr2}} := \eta_{\text{vsr2}} \cdot \rho_{\text{vsr2}}^{-1} = 3.257 \times 10^{-7} \cdot \text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
Prandtllov broj	$\text{Pr}_{\text{vsr2}} := 1.95$

Ekvivalentni promjer

$$d_{\text{hl}} := \frac{2a_1}{1.2} = 4 \times 10^{-3} \text{m}$$

Pretpostavljeni broj članaka

$$n_{1\text{pr}} := 9$$



Slika 9. Shema 3 članka pločastog rekuperatora

Morska voda

Brzina strujanja morske vode kroz rekuperator

$$v_{v1} := \frac{q_{mmv}}{\rho_{vsr1} \cdot \left[A_{1kanal} \cdot \left(\frac{n_{1pr}}{2} - 2 \right) \right]} = 1.769 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

Parametri za određivanje koeficijenta prijelaza topline

$$Re_{v1} := \frac{v_{v1} \cdot d_{h1}}{v_{vsr1}} = 14.84$$

$$Nu_{v1} := 0.3482 Re_{v1}^{0.6394} \cdot Pr_{vsr1}^{0.333} = 2.811$$

$$\alpha_v := \frac{Nu_{v1} \cdot \lambda_{vsr1}}{d_{h1}} = 459.54 \frac{1}{m^2 \cdot K} \cdot W$$

Destilat

Brzina strujanja destilata kroz rekuperator

$$v_{de} := \frac{q_{mp2}}{\rho_{vsr2} \cdot \left[A_{1kanal} \cdot \left(\frac{n_{1pr}}{2} - 2 \right) \right]} = 1.254 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

Parametri za određivanje koeficijenta prijelaza topline

$$Re_{de} := \frac{v_{de} \cdot d_{h1}}{v_{vsr2}} = 15.404$$

$$Nu_{de} := 0.3482 Re_{de}^{0.6394} \cdot Pr_{vsr1}^{0.333} = 2.879$$

$$\alpha_{de} := \frac{Nu_{de} \cdot \lambda_{vsr2}}{d_{h1}} = 485.751 \frac{1}{m^2 \cdot K}$$

Koeficijent prolaza topline pri jednofaznom strujanju

$$k_{jf} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_{ti}} + \frac{1}{\alpha_{de}}} = 234.512 \frac{1}{m^2 \cdot K}$$

4.4.2.2. Izmjena topline pri dvofaznom strujanju

Postupak određivanja vrijednosti koeficijenta prijelaza topline određuje se kompleksnim formulama koje su dobivene eksperimentalnim metodama. U literaturi se nalazi više metoda po kojima se može dobiti tražena vrijednost, a odlučili smo se za provođenje „Hsieh and Lin“ i „Rosenhow“ metode jer su one najbolje opisivale uvijete izmjene topline sa kojima se i mi susrećemo. Prva metoda se temelji na istraživanju isparavanja i kondenzacije radne tvari freon R-410a u pločastom izmjenjivaču. Ova metoda se može provesti na dva načina koja su prikazani u nastavku. Druga metoda temelji na istraživanju Jacopa Buongiorno (Associate Professor of Nuclear Science and Engineering, MIT). Tema obrađuje područje isparavanja vode kroz cijevi kružnog presjeka.

Metoda „Hsieh and Lin“, način 1 [5]

Pretpostavljeni toplinski tok

$$q_{\text{flux}} := 7513000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani morske vode

$$\alpha_{\text{mv2}} := 55 \cdot \text{Pr}_{\text{sp1}}^{0.12} \cdot (\log(\text{Pr}_{\text{sp1}}))^{-0.55} \cdot M_{\text{H2O}}^{-0.5} \cdot \left(q_{\text{flux}} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{W}} \right)^{0.67} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} = 8.222 \times 10^6 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

Koeficijent prijelaza topline na strani pare

$$\alpha_{\text{p1}} := 55 \cdot \text{Pr}_{\text{sp2}}^{0.12} \cdot (\log(\text{Pr}_{\text{sp2}}))^{-0.55} \cdot M_{\text{H2O}}^{-0.5} \cdot \left(q_{\text{flux}} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{W}} \right)^{0.67} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} = 6.273 \times 10^6 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

Koeficijent prolaza topline pri dvofaznom strujanju

$$k_{\text{df}} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{mv2}}} + \frac{\delta_{\text{lam}}}{\lambda_{\text{al}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{p1}}}} = 3.757 \times 10^5 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

Srednja razlika temperatura

$$\Delta T_{\text{sr1}} := T_{\text{sp2}} - T_{\text{sp1}} = 20 \text{ K}$$

Provjera toplinskog toka

$$q_{\text{provjera}} := k_{\text{df}} \cdot \Delta T_{\text{sr1}} = 7.513 \times 10^6 \frac{1}{\text{m}^2} \text{ W}$$

Metoda „Hsieh and Lin“, način 2 [5]

Pretpostavljeni toplinski tok

$$q_{\text{flux2}} := 9400000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Struja morske vode

Gustoća masenog toka

$$G_{\text{mv}} := \frac{q_{\text{mmv}}}{A_{\text{kanal}}} = 116.071 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Faktori za određivanje koeficijenta prijelaza topline u pločastom izmjenjivaču

$$Bo_{\text{mv}} := \frac{q_{\text{flux2}}}{r_{\text{ispmv}} \cdot G_{\text{mv}}} = 0.03589$$

$$X_{\text{ttmv}} := \left(\frac{1 - x_1}{x_1} \right)^{0.9} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{vk1}}}{\rho_{\text{sp1}}} \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{\eta_{\text{sp1}}}{\eta_{\text{vk1}}} \right)^{0.1} = 18.067$$

$$E_{\text{mv}} := 1 + 24000 Bo_{\text{mv}}^{1.16} + 1.36 \left(\frac{1}{X_{\text{ttmv}}} \right)^{0.86} = 506.819$$

$$S_{\text{mv}} := \left(1 + 1.15 \cdot 10^{-6} \cdot E_{\text{mv}}^2 \cdot Re_{\text{mvl}}^{1.17} \right)^{-1} = 1.234 \times 10^{-3}$$

Ukupni koeficijent prijelaza topline u rekuperatoru na strani morske vode

$$\alpha_{\text{mvuk}} := E_{\text{mv}} \cdot \alpha_{\text{mv1}} + S_{\text{mv}} \cdot \alpha_{\text{mv2}} = 3.084 \times 10^6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Struja pare

Gustoća masenog toka

$$G_p := \frac{q_{mp2}}{A_{kanal}} = 81.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Faktori za određivanje koeficijenta prijelaza topline u pločastom izmjenjivaču

$$Bo_p := \frac{q_{flux2}}{r_{ispp} \cdot G_p} = 0.0525$$

$$X_{ttp} := \left(\frac{1 - 0}{1} \right)^{0.9} \cdot \left(\frac{\rho_{vk2}}{\rho_{sp2}} \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{\eta_{sp2}}{\eta_{vk2}} \right)^{0.1} = 21.727$$

$$E_p := 1 + 24000 Bo_p^{1.16} + 1.36 \left(\frac{1}{X_{ttp}} \right)^{0.86} = 788.239$$

$$S_p := \left(1 + 1.15 \cdot 10^{-6} \cdot E_p^2 \cdot Re_{de}^{1.17} \right)^{-1} = 7.747 \times 10^{-4}$$

Ukupni koeficijent prijelaza topline u rekuperatoru na strani pare

$$\alpha_{puk} := E_p \cdot \alpha_{mv1} + S_p \cdot \alpha_{p1} = 4.785 \times 10^6 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Provjera pretpostavljenih vrijednosti

Koeficijent prolaza topline pri dvofaznom strujanju

$$k_{df2} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{mvuk}} + \frac{\delta_{lam}}{\lambda_{al}} + \frac{1}{\alpha_{puk}}} = 3.431 \times 10^5 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot W$$

Srednja logaritamska razlika temperatura

$$\Delta T_{log2} := \frac{(T_{pp} - T_{sp1}) - (T_{de} - T_{mv1})}{\ln \left[\frac{(T_{pp} - T_{sp1})}{(T_{de} - T_{mv1})} \right]} = 27.424 \text{K}$$

Provjera toplinskog toka

$$q_{provjera2} := k_{df2} \cdot \Delta T_{log2} = 9.41 \times 10^6 \frac{1}{\text{m}^2} W$$

Metoda „Rosenhow“ [6]

Koeficijent prijelaza topline na strani morske vode

$$\alpha_{ispmv} := \eta_{vk1} \cdot (h_{sp1} - h_{vk1}) \cdot \left[\frac{g \cdot (\rho_{vk1} - \rho_{sp1})}{\sigma \cdot s} \right]^{0.5} \cdot \left[\frac{c_{pvk1}}{0.013(h_{sp1} - h_{vk1}) \cdot Pr_{vk1}} \right]^3 \cdot (110K - 100K)^2 \cdot K^{-2} = 1.464 \times 10^7 \frac{1}{m^2 \cdot K} \cdot W$$

Koeficijent prijelaza topline na strani pare

$$\alpha_{condp} := \eta_{vk2} \cdot (h_{sp2} - h_{vk2}) \cdot \left[\frac{g \cdot (\rho_{vk2} - \rho_{sp2})}{\sigma \cdot s} \right]^{0.5} \cdot \left[\frac{c_{pvk2}}{0.013(h_{sp2} - h_{vk2}) \cdot Pr_{vk2}} \right]^3 \cdot (110K - 120K)^2 \cdot K^{-2} = 2.242 \times 10^7 \frac{1}{m^2 \cdot K} \cdot W$$

Određivanje toplinskog toka preko formule

$$q_{flux3} := 0.13 \rho_{sp1} \cdot (h_{sp2} - h_{vk2}) \cdot \left[\frac{g \cdot \sigma \cdot s \cdot (\rho_{vk1} - \rho_{sp1})}{\rho_{sp1}^2} \right]^{0.25} \cdot K = 3.399 \times 10^4 \frac{1}{m^2} \cdot W$$

Koeficijent prolaza topline pri dvofaznom strujanju

$$k_{df3} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ispmv}} + \frac{\delta_{lam}}{\lambda_{al}} + \frac{1}{\alpha_{condp}}} = 4.01 \times 10^5 \frac{1}{m^2 \cdot K} \cdot W$$

Srednja razlika temperatura

$$\Delta T_{sr3} := T_{sp2} - T_{sp1} = 20K$$

Provjera toplinskog toka

$$q_{provjera3} := k_{df3} \cdot \Delta T_{sr3} = 8.02 \times 10^6 \frac{1}{m^2} W$$

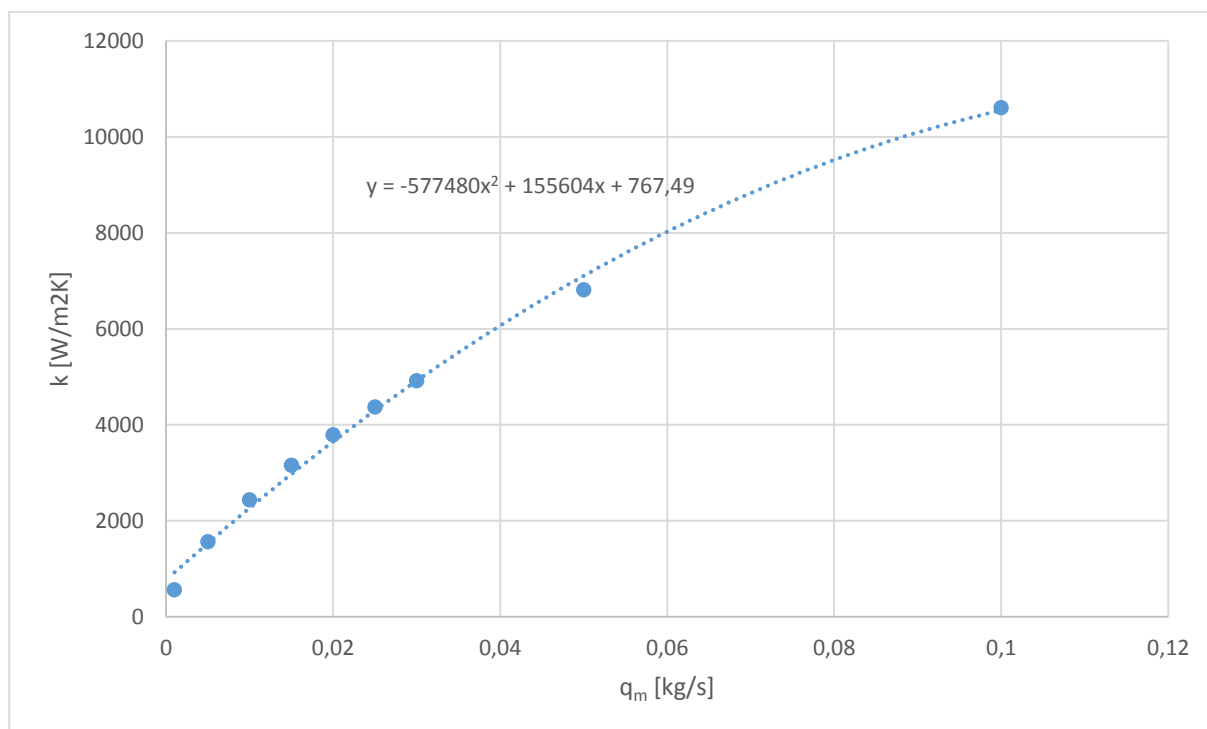
Nakon što je proveden proračun dobivene su vrijednosti koje su previše odstupale od realnih. Smatramo da je razlog dobivanja nelogičnih rezultata u ograničenosti rezultata na uvijete ispitivanja. Stoga smo se odlučili koristiti vrijednosti koeficijenta prijelaza topline prilikom isparavanja i kondenzacije koje smo dobili prilikom provjere postojećih kondenzatora i isparivača proizvođača Alfa Laval.

$$\alpha_{\text{isp}} := \alpha_{\text{ispal}} = 3.132 \times 10^3 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

$$\alpha_{\text{kond}} := \alpha_{\text{kondal}} = 2.889 \times 10^3 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

Koeficijent prolaza topline pri dvofaznom strujanju

$$k_{\text{df}} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{isp}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{\text{ti}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{kond}}}} = 1.439 \times 10^3 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$



Slika 10. Dijagram ovisnosti koeficijenta prolaza topline o protoku

Dijagram prikazuje ovisnost koeficijenta prolaza topline o masenom toku radnog medija kroz pločasti izmjenjivač.

4.4.2.3. Dimenzije potrebnog izmjenjivača topline [3]

Jednofazno strujanje

Srednja logaritamska razlika temperatura

$$\Delta T_{\log 1} := \frac{(T_{de} - T_{mv1}) - (T_{vk2} - T_{vk1})}{\ln \left[\frac{(T_{de} - T_{mv1})}{(T_{vk2} - T_{vk1})} \right]} = 17.253K$$

Potrebna površina izmjene topline

$$A_{jf} := \frac{\Phi_{zagmv}}{k_{jf} \cdot \Delta T_{\log 1}} = 1.761m^2$$

Potreban broj članaka

$$n_{jf} := \frac{A_{jf}}{A_1} = 42.705$$

Dvofazno strujanje

Srednja logaritamska razlika temperatura

$$\Delta T_{\log 2} := 11.35K$$

Potrebna površina izmjene topline

$$A_{df} := \frac{\Phi_{ispmv}}{k_{df} \cdot \Delta T_{\log 2}} = 1.934m^2$$

Potreban broj članaka

$$n_{df} := \frac{A_{df}}{A_1} = 46.9$$

Dimenzije pločastog izmjenjivača

Ukupna površina izmjene topline

$$A_{uk} := A_{jf} + A_{df} = 3.695m^2$$

Potreban broj članaka

$$n_{uk} := n_{jf} + n_{df} = 89.604$$

Odabrani broj članaka

$$n_{od} := \text{round}(n_{uk}, 0) = 90$$

4.5. Solarni sustav

4.5.1. Podaci o sustavu

Podaci o kolektoru i vodi unutar kolektora [7]

Vanjski promjer staklene cijevi	$D_1 := 58\text{mm}$
Unutarnji promjer staklene cijevi	$D_2 := 51\text{mm}$
Vanjski promjer apsorbera	$d_1 := 38\text{mm}$ DN32
Unutarnji promjer apsorbera	$d_2 := 32.8\text{mm}$
Unutarnja površina cijevi apsorbera	$A_{uaps} := d_2^2 \cdot \pi \cdot 4^{-1} = 8.45 \times 10^{-4} \text{m}^2$
Duljina jedne sekcije	$L_1 := 1\text{m}$
Faktor emisivnosti apsorbera	$\varepsilon_{aps} := 0.35$
Faktor emisivnosti stakla	$\varepsilon_{st} := 0.5$
Faktor apsorpcija apsorbera	$\alpha_{aps} := 0.85$
Faktor propusnosti stakla	$\tau_{st} := 0.5$
Stephan-Boltzman const	$\sigma := 5.6737310^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
	$k_{\text{čelik}} := 16 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
Protok vode kroz kolektor	$q_{mko1} := 0.033 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
Gustoća vode	$\rho_{vS} := 935.02 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Dinamička viskoznost vode	$\eta_{vS} := 220 \cdot 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{s}$
Kinematska viskoznost vode	$\nu_{vS} := \eta_{vS} \cdot \rho_{vS}^{-1} = 2.353 \times 10^{-7} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Specifični toplinski kapacitet vode	$c_{pS} := 4245 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Toplinska vodljivost vode	$\lambda_{vS} := 0.6833 \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Stanje okoliša i temperature

Upadno solarno zračenje	$I := 1000 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
Temperatura okoliša	$T_{ok} := \vartheta_{ok} + 273.15 \text{K} = 293.15 \text{K}$
Temperatura apsorbera	$T_{aps} := \vartheta_{aps} + 273.15 \text{K} = 403.15 \text{K}$
Temperatura stakla	$T_{st1} := \vartheta_{st} + 273.15 \text{K} = 298.16 \text{K}$
Temperatura neba	$T_{nebo} := \vartheta_{nebo} + 273.15 \text{K} = 275.15 \text{K}$
Brzina vjetra	$u := 5 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Temperatura vode na ulazu u kolektor	$T_{ko11} := \vartheta_{ko11} + 273.15 \text{K} = 393.15 \text{K}$

4.5.2. Proračun toplinskih gubitaka kolektora [7]

Određivanje parametara izmjene topline

$$\text{Re}_{\text{van}} := \frac{\rho_{\text{Zr}} \cdot u \cdot D_1}{\eta_{\text{Zr}}} = 1.892 \times 10^4$$

$$\text{Nu}_{\text{van}} := 0.86 \text{Re}_{\text{van}}^{0.5} \cdot \text{Pr}_{\text{Zr}} = 84.351$$

$$\alpha_{\text{van}} := \frac{\text{Nu}_{\text{van}} \cdot \lambda_{\text{Zr}}}{D_1} = 37.219 \frac{\text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$$

Gubici konvekcijom i zračenjem

$$\Phi_{\text{gub}} := \pi \cdot D_1 \cdot L_1 \cdot \left[\alpha_{\text{van}} \cdot (T_{\text{st1}} - T_{\text{ok}}) + \varepsilon_{\text{aps}} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{st1}}^4 - T_{\text{nebo}}^4) \right] = 41.834 \text{W}$$

Temperatura unutarnje stijenke stakla

$$T_{\text{st2}} := T_{\text{st1}} + \frac{\Phi_{\text{gub}} \cdot \ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right) \cdot \text{s}^3 \cdot \text{K}}{2 \cdot \pi \cdot 1.4 \cdot L_1 \cdot \text{m} \cdot \text{kg}} = 298.772 \text{K}$$

Provjera toplinskog toka

$$\Phi_{\text{gubpr}} := \frac{\pi \cdot d_1 \cdot L_1 \cdot \sigma \cdot (T_{\text{aps}}^4 - T_{\text{st2}}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{aps}}} + \frac{1 - \alpha_{\text{aps}}}{\alpha_{\text{aps}}} \cdot \frac{d_1}{D_2}} = 41.81 \text{W}$$

Faktor gubitaka

$$U_L := \frac{\Phi_{\text{gub}}}{\pi \cdot d_1 \cdot L_1 \cdot (T_{\text{aps}} - T_{\text{ok}})} = 3.186 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \text{W}$$

Površina apsorbera

$$A_{\text{aps}} := \pi \cdot d_1 \cdot L_1 = 0.119 \text{m}^2$$

Površina kolektora

$$A_{\text{kol}} := (0.5 \text{m} - D_1) \cdot 1 \text{m} = 0.442 \text{m}^2$$

Određivanje koeficijenta prolaska topline s unutarnje strane cijevi

$$v_{vS} := \frac{q_{mkol}}{\rho_{vS} \cdot A_{uaps}} = 0.04177 \frac{m}{s}$$

$$Re_{vS} := \frac{v_{vS} \cdot d_2}{\nu_{vS}} = 5.823 \times 10^3$$

$$Pr_{vS} := \frac{c_{pS} \cdot \eta_{vS}}{\lambda_{vS}} = 1.367$$

$$Nu_{vS} := \frac{0.0398 Pr_{vS} \cdot Re_{vS}^{0.75}}{1 + 1.74 Re_{vS}^{-0.125} \cdot (Pr_{vS} - 1)} = 29.821$$

$$\alpha_{vS} := \frac{\lambda_{vS} \cdot Nu_{vS}}{d_2} = 621.231 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Faktor korisnosti kolektora

$$F_1 := \frac{\frac{1}{U_L}}{\frac{1}{U_L} + \frac{d_1}{\alpha_{vS} \cdot d_2} + \frac{d_1 \cdot \ln\left(\frac{d_1}{d_2}\right)}{2 \cdot k_{\text{čelik}}}} = 0.994$$

$$F_2 := \frac{q_{mkol} \cdot c_{pS}}{A_{aps} \cdot U_L \cdot F_1} = 370.74$$

$$F_3 := F_2 \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-1}{F_2}\right)\right) = 0.999$$

$$F_R := F_1 \cdot F_3 = 0.992$$

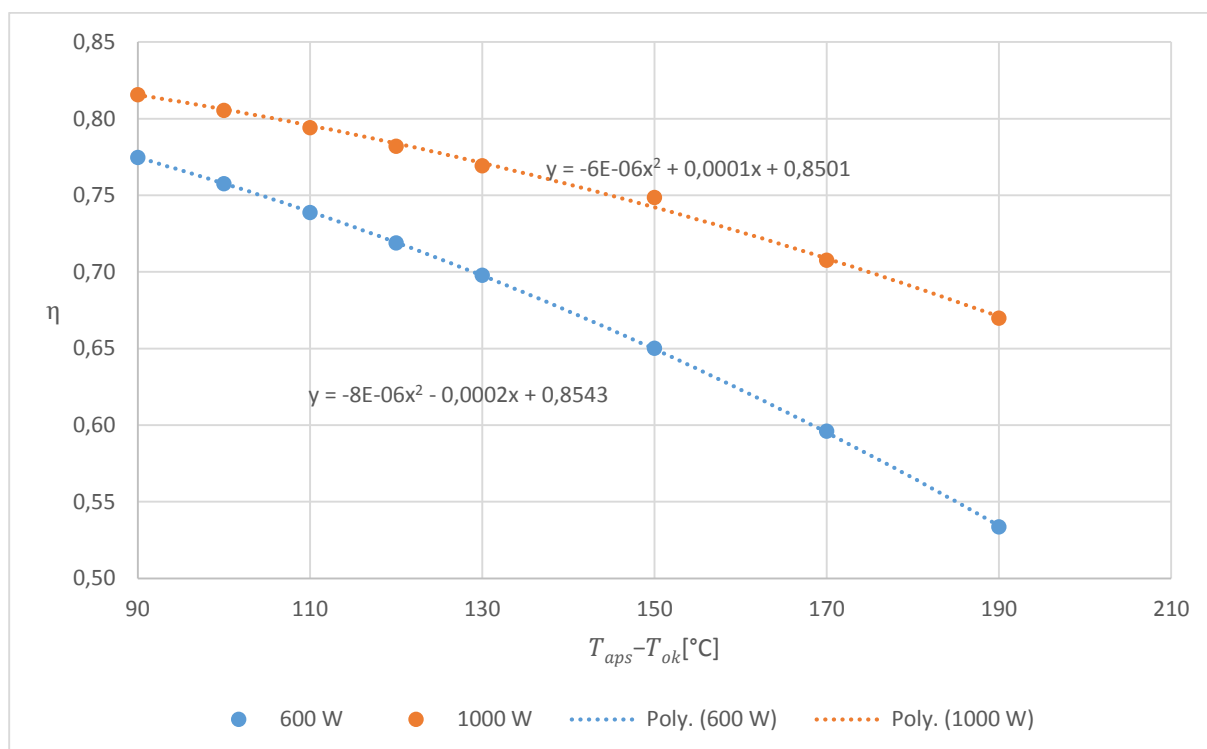
Korisna snaga

$$P_{kol} := A_{kol} \cdot F_R \cdot \left[I - \frac{A_{aps} \cdot U_L}{A_{kol}} \cdot (T_{aps} - T_{ok}) \right] = 397.047 W$$

Porast temperature u jednom kolektoru

$$\Delta T_{kol} := \frac{P_{kol}}{q_{mkol} \cdot c_{pS}} = 2.834 K$$

Dijagram je dobiveni za slučaj stalne temperature okoliša koja iznosi 20°C.

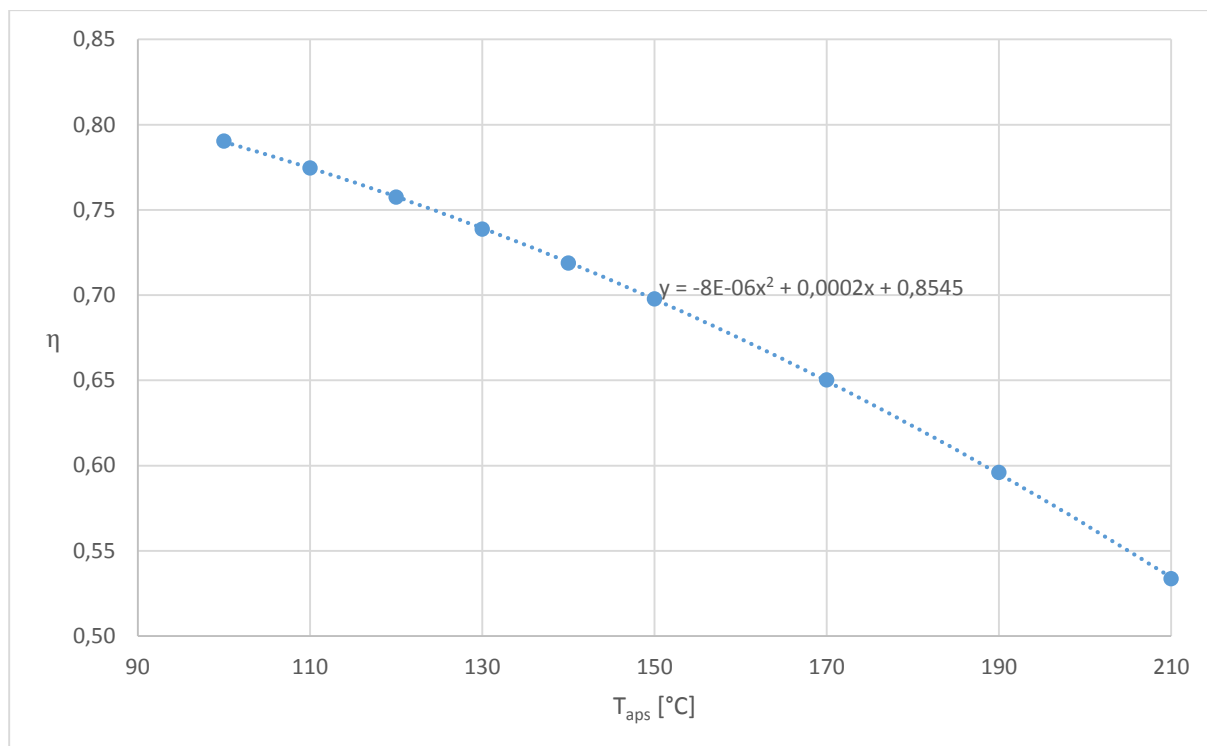


Slika 11. Dijagram promjene učinkovitosti pri različitom intenzitetu sunčevog zračenja

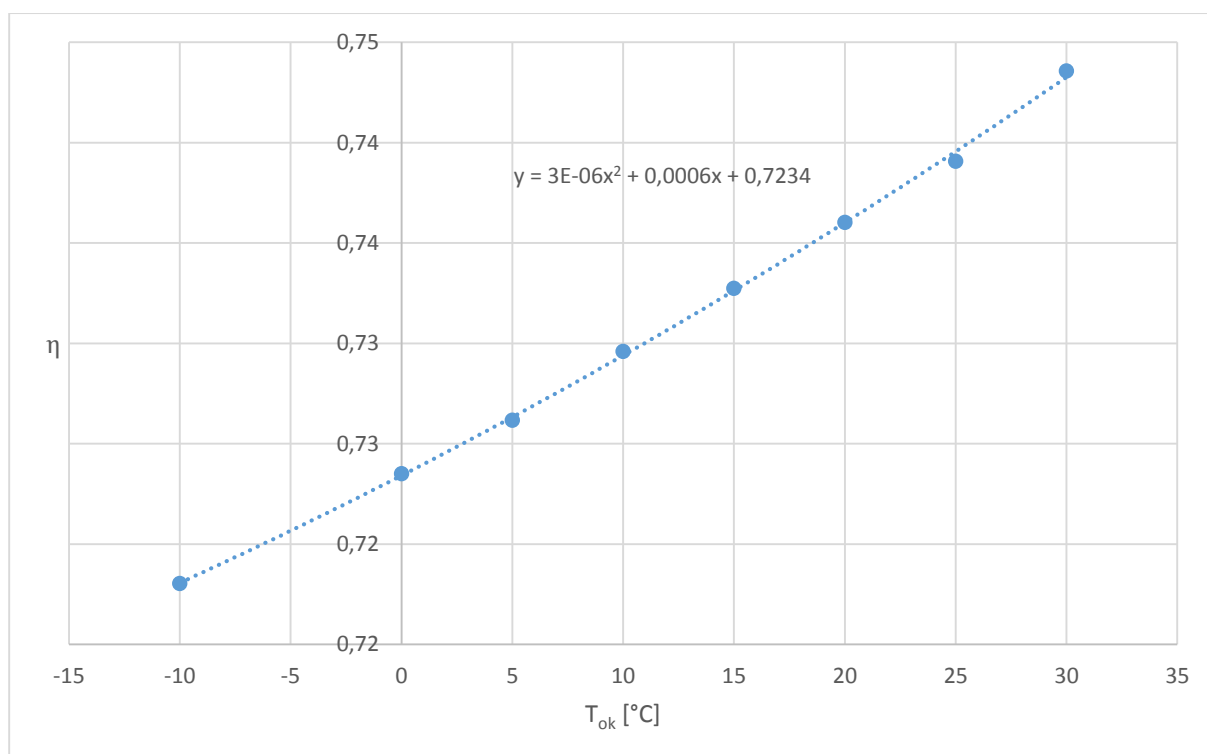
Dijagram prikazuje ovisnost učinkovitosti kolektora o promjeni razlike temperature apsorbera i temperature okoliša. Možemo uočiti da učinkovitost kolektora opada smanjenjem intenziteta sunčevog zračenja.

$$\eta = \frac{P_{kol}}{I}$$

$$\Delta T = T_{aps} - T_{ok}$$



Slika 12. Dijagram promjene učinkovitosti u ovisnosti o temperaturi apsorbera



Slika 13. Dijagram promjene učinkovitosti u ovisnosti o temperaturi okoliša

Dijagrami su dobiveni za slučaj sunčevog zračenja od 1000 W/m^2 . Na dijagramima se može vidjeti da promjena temperature apsorbera znatno više utječe na promjenu učinkovitosti od promjene temperature okoliša.

4.5.3. Spiralni izmjenjivač u spremniku [9]

4.5.3.1. Prijenos topline spiralnog izmjenjivača

Promjer spirale $L_{\text{spirale}} := 30\text{cm}$

Određivanje koeficijenta prolaska topline s unutarnje strane cijevi

$$v_{ss1} := \frac{q_{mko1}}{\rho_{vS} \cdot A_{uaps}} = 0.04177 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_{ss1} := \frac{v_{ss1} \cdot d_2}{v_{vS}} = 5.823 \times 10^3$$

$$Pr_{ss1} := \frac{c_{pS} \cdot \eta_{vS}}{\lambda_{vS}} = 1.367$$

$$m_{ss1} := 0.5 + 0.2903 \left(\frac{d_1}{L_{\text{spirale}}} \right)^{0.194} = 0.694$$

$$Nu_{ss1} := 3.66 + 0.08 \left[1 + 0.8 \left(\frac{d_1}{L_{\text{spirale}}} \right)^{0.9} \right] \cdot Re_{ss1}^{m_{ss1}} \cdot Pr_{ss1}^{0.333} \cdot \left(\frac{Pr_{ss1}}{Pr_{vk1}} \right)^{0.14} = 43.368$$

$$\alpha_{ss1} := \frac{\lambda_{vS} \cdot Nu_{ss1}}{d_1} = 779.827 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Određivanje koeficijenta prolaska topline s vanjske strane cijevi

$$Gr_{ss2} := \frac{\rho_{vk1} - 958.4 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}}{958.4 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}} \cdot \frac{g \cdot d_1^3}{v_{vk1}^2} = 6.497 \times 10^4$$

$$Nu_{ss2} := 0.41 \sqrt[4]{Gr_{ss2} \cdot Pr_{vk1}} = 7.528$$

$$\alpha_{ss2} := \frac{Nu_{ss2} \cdot \lambda_{vk1}}{d_1} = 134.534 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Koeficijent prolaza topline kroz cijevnu stjenku

$$k_{ss} := \frac{1}{\frac{\frac{d_1}{2}}{\frac{d_2 \cdot \alpha_{ss1}}{2}} + \frac{\frac{d_1}{2}}{\lambda_{ti}} \cdot \ln \left(\frac{\frac{d_1}{2}}{\frac{d_2}{2}} \right) + \frac{1}{\alpha_{ss2}}} = 110.094 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

4.5.3.2. Dimenzije spiralnog izmjenjivača [9]

Potreban toplinski tok

$$\Phi_{kol} = 2.817 \times 10^3 \text{ W}$$

Temperatura vode na ulazu u kolektor

$$T_{kol1} = 393.15 \text{ K}$$

$$\vartheta_{kol1} = 120 \text{ K}$$

Određivanje potrebnog broja kolektora

$$n_{kol} := \frac{\Phi_{kol}}{P_{kol}} = 7.094$$

$$n_{kolO} := \text{round}(n_{kol} + 1, 1) = 8$$

Temperatura vode na izlazu iz svih kolektora

$$T_{kol2} := n_{kolO} \cdot \Delta T_{kol} + T_{kol1} = 416.108 \text{ K} \quad \vartheta_{kol2} := T_{kol2} - 273.15 \text{ K} = 142.96 \text{ K}$$

Stvarni toplinski tok na kolektor

$$\Phi_{kolstv} := 8 \cdot P_{kol} = 3.176 \times 10^3 \text{ W}$$

Srednja logaritamska temperaturna razlika

$$\Delta T_{sol} := \frac{(T_{kol2} - T_{vk1}) - (T_{kol1} - T_{vk1})}{\ln \left[\frac{(T_{kol2} - T_{vk1})}{(T_{kol1} - T_{vk1})} \right]} = 30.03 \text{ K}$$

Potrebna površina za izmjenu topline

$$A_{ss} := \frac{\Phi_{kol}}{k_{ss} \cdot \Delta T_{sol}} = 0.852 \text{ m}^2$$

Površina jednog namotaja spiralnog izmjenjivača

$$A_{1krugsp} := (L_{spirale} \cdot \pi) \cdot (d_1 \cdot \pi) = 0.113 \text{ m}^2$$

Broj namotaja spirale

$$n_{sp} := \frac{A_{ss}}{A_{1krugsp}} = 7.572$$

$$n_{spO} := \text{round}(n_{sp} - 1, 0) = 7$$

4.5.3.3. Dimenzioniranje električnog grijača

Promjer grijača

$$d_{\text{elgr}} := 10\text{mm}$$

Gustoća snage grijača

$$q_{\text{elgr}} := 20\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$$

Potrebna snaga grijača

$$P_{\text{elgr}} := \Phi_{\text{kol}} = 2.817 \times 10^3 \text{ W}$$

Potrebna površina za izmjenu topline

$$A_{\text{elgr}} := \frac{P_{\text{elgr}}}{q_{\text{elgr}}} = 0.014\text{m}^2$$

Potrebna duljina

$$L_{\text{elgr}} := \frac{A_{\text{elgr}}}{d_{\text{elgr}}} = 1.408\text{m}$$

4.5.4. Dimenzioniranje pumpi za vodu [10]

4.5.4.1. Pumpa za solarni krug

Duljina cjevovoda	$L_{sol} := 20\text{m}$
Hrapavost cijev (čelik)	$k_{\text{ee}} := 0.045\text{mm}$
Protok vode	$q_{msol} := q_{mko1} = 0.033\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
Gustoća	$\rho_{sol} := \rho_{vS} = 935.02\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Unutarnji promjer cijevi	$d_2 = 0.033\text{m}$
Broj koljena	$n_{k1} := 1$
Broj ventila	$n_{v1} := 1$

Volumni protok vode

$$q_{vsol} := q_{msol} \cdot \rho_{sol}^{-1} = 3.529 \times 10^{-5} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Reynoldsov broj u cjevovodu solarnog kruga

$$Re_{sol} := Re_{ss1} = 5.823 \times 10^3$$

Faktor trenja

$$\lambda_{sol} := \frac{1.325}{\left(\ln \left(\frac{k_{\text{ee}}}{3.7 \cdot d_2} + \frac{5.74}{Re_{sol}^{0.9}} \right) \right)^2} = 0.038$$

Modeliranje linijskih gubitaka

$$h_{fsol} := \lambda_{sol} \cdot \frac{8 \cdot L_{sol} \cdot q_{vsol}^2}{\pi^2 \cdot d_2^5 \cdot g} = 2.059 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Modeliranje lokalnih gubitaka

$$h_{fmsol} := (n_{k1} \cdot 5 + n_{v1} \cdot 0.5) \cdot \frac{8 \cdot q_{vsol}^2}{\pi^2 \cdot d_2^4 \cdot g} = 4.892 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Snaga pumpe

$$P_{sol} := g \cdot q_{msol} \cdot (h_{fsol} + h_{fmsol}) = 2.25 \times 10^{-3} \cdot \text{W}$$

Odabrana je pumpa „Comfort“ proizvođača Grundfos. Maksimalni protok iznosi 0,8 m³/h, maksimalna visina dizanja iznosi 1,5 m, a maksimalna snaga pumpe iznosi 12 W.

4.5.4.2. Pumpa za krug morske vode

Duljina cjevovoda	$L_{mv1} := 50\text{m}$
Hrapavost cijev (čelik)	$k_{\text{ee}} = 0.045\text{mm}$
Unutarnji promjer cijevi	$d_{mv1} := 32.8\text{mm}$
Protok vode	$q_{mmv} = 0.02\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
Gustoća	$\rho_{mv1} := 1030\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Dinamička viskoznost	$\eta_{mv1} := 1137.55\cdot 10^{-6}\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
Pad tlaka na rekuperatoru	$\Delta p_{\text{rek}} := 50\cdot 10^3$
Broj koljena	$n_{k2} := 10$
Broj ventila	$n_{v2} := 10$

Volumni protok vode

$$q_{vmv1} := q_{mmv} \cdot \rho_{mv1}^{-1} = 1.942 \times 10^{-5} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Reynoldsov broj

$$\text{Re}_{mv1} := \frac{4 \rho_{mv1} \cdot q_{vmv1}}{\pi \cdot d_{mv1} \cdot \eta_{mv1}} = 682.489$$

Faktor trenja

$$\lambda_{mv1} := \frac{1.325}{\left(\ln \left(\frac{k_{\text{ee}}}{3.7 \cdot d_{mv1}} + \frac{5.74}{\text{Re}_{mv1}^{0.9}} \right) \right)^2} = 0.079$$

Modeliranje linijskih gubitaka

$$h_{fmv1} := \lambda_{mv1} \cdot \frac{8 \cdot L_{mv1} \cdot q_{vmv1}^2}{\pi^2 \cdot d_{mv1}^5 \cdot g} = 3.23 \times 10^{-3} \text{m}$$

Modeliranje lokalnih gubitaka

$$h_{fmmv1} := \Delta p_{\text{rek}} \cdot 1.03 \cdot 10^{-4} \text{m} + (n_{k2} \cdot 5 + n_{k1} \cdot 0.5) \cdot \frac{8 \cdot q_{vmv1}^2}{\pi^2 \cdot d_{mv1}^4 \cdot g} = 5.151 \text{m}$$

Snaga pumpe

$$P_{mv} := g \cdot q_{mmv} (h_{fmv1} + h_{fmmv1}) = 1.011 \text{W}$$

Odabrana je pumpa „Alpha2“ proizvođača Grundfos. Maksimalni protok iznosi 3,5 m³/h, maksimalna visina dizanja iznosi 6 m, a maksimalna snaga pumpe iznosi 205 W.

5. OPTIMIZACIJA SUSTAVA

Optimizacijom sustava su se pokušali dobiti takvi parametri koji ostvaruju najmanju potrošnju, ali pod uvjetom da sustav i dalje bude realnih dimenzija. Vrijednost protoka pitke vode se držala konstantnom, a mijenjala se vrijednost stanja nakon kompresora. U tablici ispod su dane vrijednosti dobivene provođenjem postupka optimizacije.

Tablica 3. Optimizacija sustava

		1	2	3	4	5	6	7
Maseni protok morske vode	[kg/s]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Maseni protok pitke vode	[kg/s]	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Tlak nakon kompresora apsolutni	[bar]	1	1,2	1,5	2	3	4	5
Temperatura isparavanja	[°C]	100	104,78	111,35	120,21	133,53	143,61	151,84
Temperatura pregrijanja	[°C]		120	130	140	150	160	170
Snaga rekuperatora	[W]	7.125	35.649	35.902	36.128	36.307	36.505	36.711
Snaga kolektora	[W]	32.000	3.070	2.817	2.590	2.411	2.214	2.008
Snaga kompresora	[W]	0	536	788	1.016	1.196	1.392	1.602
Snaga pumpi za vodu	[W]	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Razlika temp isp i kond	[°C]	0,00	4,78	11,35	20,21	33,53	43,61	51,84
Broj članaka		23	220	90	48	28	20	16
Faktor učinkovitosti	kg/kWh	1260,00	87,58	60,83	47,73	40,78	35,20	30,69
Faktor učinkovitosti	kWh/m ³	1,28	11,42	16,44	20,95	24,52	28,41	32,58

Faktor učinkovitosti 1:

$$\eta_1 = \frac{q_m}{P_{komp} + P_{el.gr.} + P_{pumpe}}$$

Faktor učinkovitosti 2:

$$\eta_2 = \frac{\rho_v}{\eta_1}$$

Optimizacija sustava se sastojala od projektiranja sustava sa kompresorom i bez njega. Sustav vođen parametrima pod točkom 1 je sustav bez kompresora. Na temelju svih vrijednosti iz tablice odlučeno je da sustav vođen parametrima pod točkom 3 ima optimalne vrijednosti pri realnim parametrima, te se po vrijednostima iz te točke ponovio cijeli proračun i napravila analiza rada sustava.

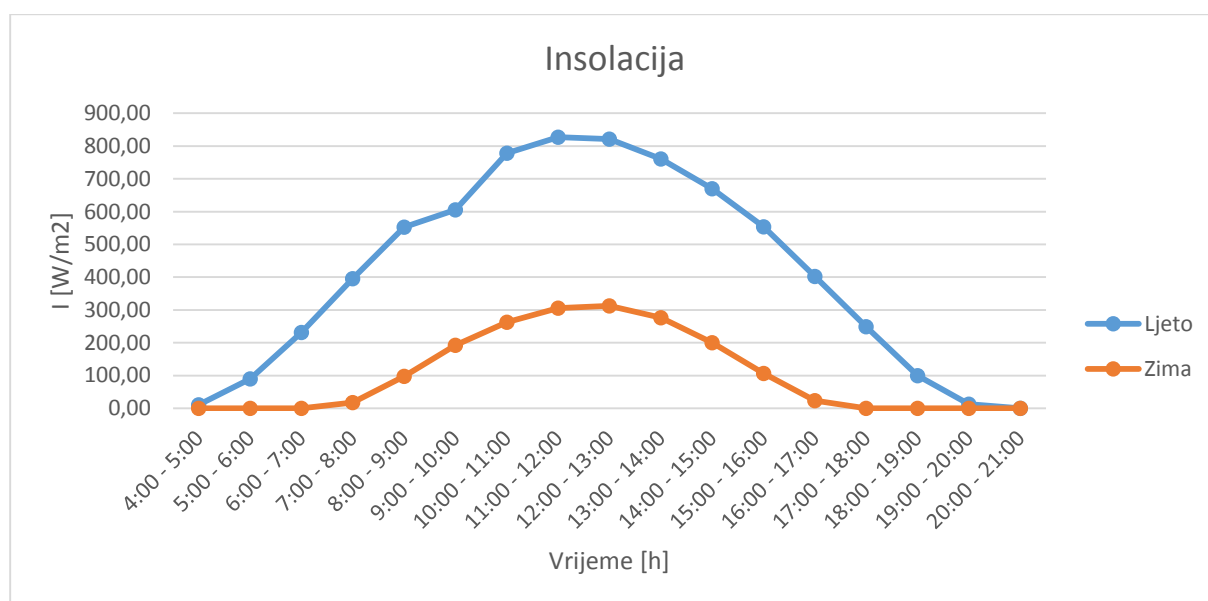
6. SIMULACIJA RADA SUSTAVA

Simulacija rada sustava je provedena za sve parametre koji su dobiveni proračunom. Broj kolektora je određen za vrijednost insolacije od 1000 W/m^2 . Ova vrijednost kaže da je sustav dimenzioniran za maksimalno opterećenje. Vrijednosti insolacije po kojima je rađena simulacija su uzeti za grad Split. Napravljena je analiza rada sustava za sve mjesece ali ovdje su prikazani samo karakteristični mjeseci: srpanj i siječanj. Mjesečna analiza se nalazi u prilogu 1.

Tablica 4. Kapacitet sustava

Vrsta vode	Maseni protok	Gustoća	Volumni protok	Vrijeme za 1m3	Vrijeme za 1m3
	[kg/s]	[kg/m3]	[m3/s]	[s]	[h]
Morska voda	0,02	1030	1,94175E-05	51.500	14,31
Destilat	0,014	992,22	1,41098E-05	70.873	19,69
Otpadna voda	0,006	1100	5,45455E-06	183.333	50,93

1 m^3 vode koju odbacujemo sadrži približno 100 kg soli. Kako se voda obogaćena solju nalazi na temperaturi od 100°C , ukoliko bi ju dovodili u bazen sa sustavom solarne desalinizacije mogli bi izvoditi vodu od soli i tako još povećati učinkovitost sustava.

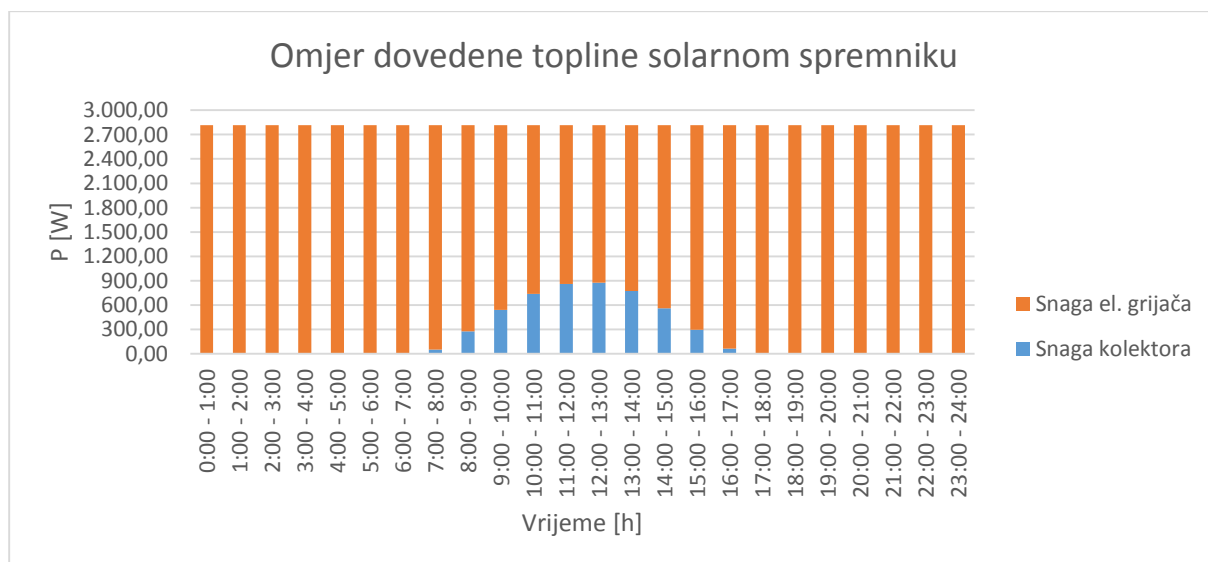


Slika 14. Usporedba insolacije u zimskom i ljetnom periodu

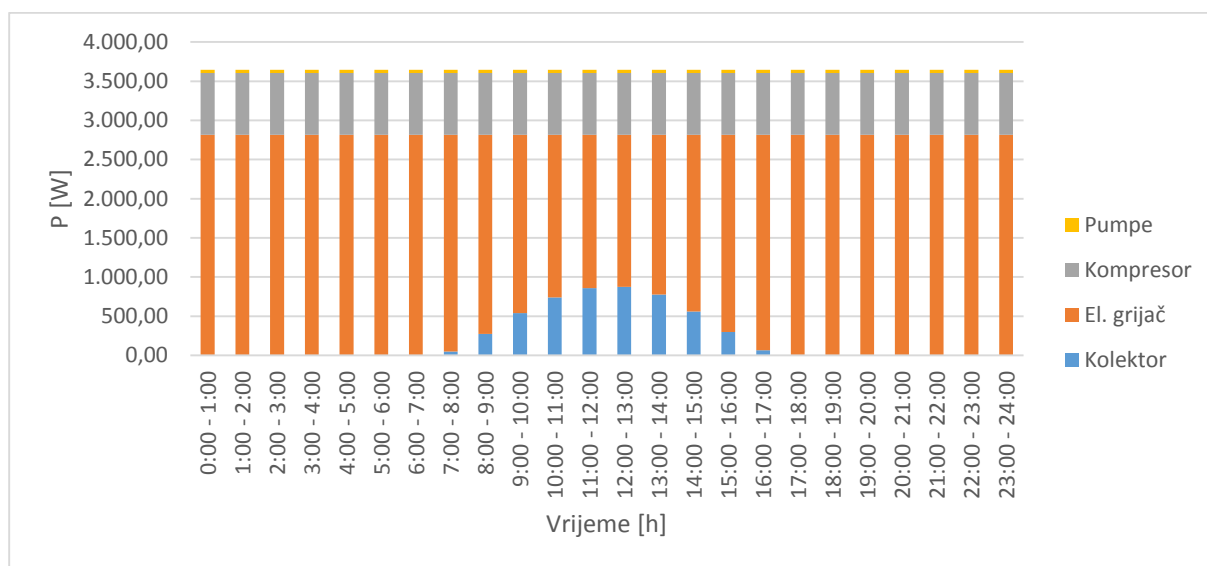
Podaci dobiveni analizom za mjesec siječanj.

Tablica 5. Vrijednosti za mjesec siječanj

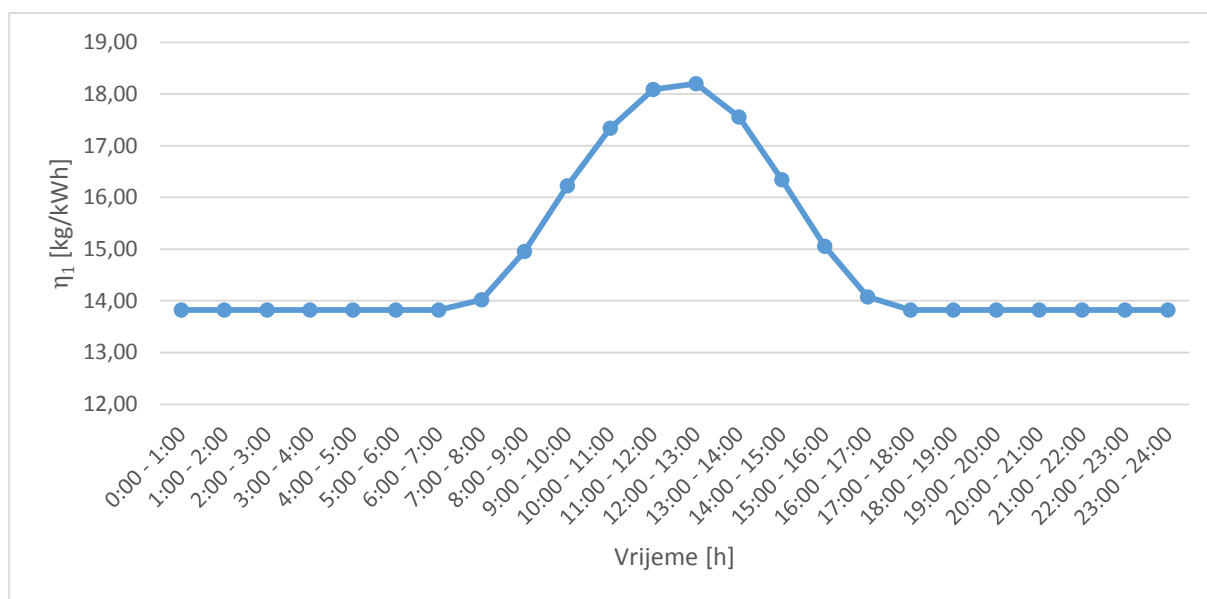
Siječanj									
vrijeme	Insolacija	Max snaga kolektora	Snaga kolektora	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Ukupna toplinska en.	Ukupna električna en.	Faktor učinkovitosti 1
	W/m ²	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
0:00 - 1:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
1:00 - 2:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
2:00 - 3:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
3:00 - 4:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
4:00 - 5:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
5:00 - 6:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
6:00 - 7:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
7:00 - 8:00	18,00	50,54	50,54	2.766,26	788,5	40,0	50,54	3594,74	14,02
8:00 - 9:00	98,00	275,18	275,18	2.541,62	788,5	40,0	275,18	3370,10	14,96
9:00 - 10:00	192,00	539,12	539,12	2.277,68	788,5	40,0	539,12	3106,16	16,23
10:00 - 11:00	263,00	738,49	738,49	2.078,31	788,5	40,0	738,49	2906,79	17,34
11:00 - 12:00	306,00	859,23	859,23	1.957,57	788,5	40,0	859,23	2786,05	18,09
12:00 - 13:00	312,00	876,08	876,08	1.940,72	788,5	40,0	876,08	2769,20	18,20
13:00 - 14:00	276,00	774,99	774,99	2.041,81	788,5	40,0	774,99	2870,29	17,56
14:00 - 15:00	200,00	561,59	561,59	2.255,21	788,5	40,0	561,59	3083,69	16,34
15:00 - 16:00	106,00	297,64	297,64	2.519,16	788,5	40,0	297,64	3347,64	15,06
16:00 - 17:00	23,00	64,58	64,58	2.752,22	788,5	40,0	64,58	3580,70	14,08
17:00 - 18:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
18:00 - 19:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
19:00 - 20:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
20:00 - 21:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
21:00 - 22:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
22:00 - 23:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
23:00 - 24:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83



Slika 15. Omjer toplinskih tokova dovedenih spremniku - siječanj



Slika 16. Omjer potrošnje pojedinih potrošača - siječanj



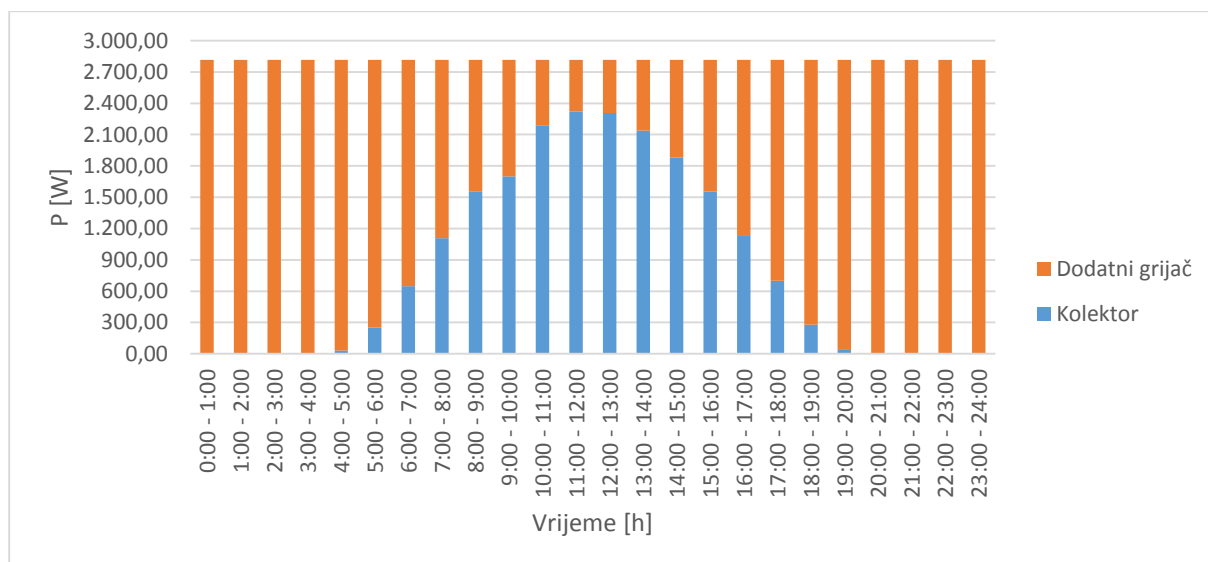
Slika 17. Učinkovitost sustava - siječanj

Učinkovitost sustava je izražena kao masa pitke vode koju dobijemo za uloženi 1 kWh električne energije.

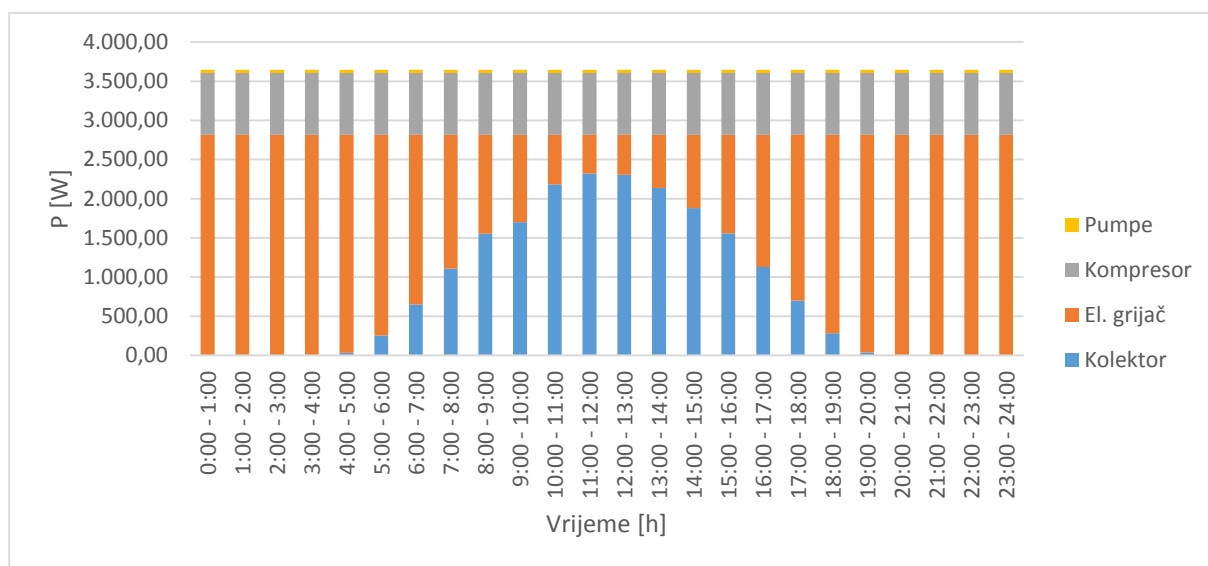
Podaci dobiveni analizom za mjesec srpanj.

Tablica 6. Vrijednosti za mjesec srpanj

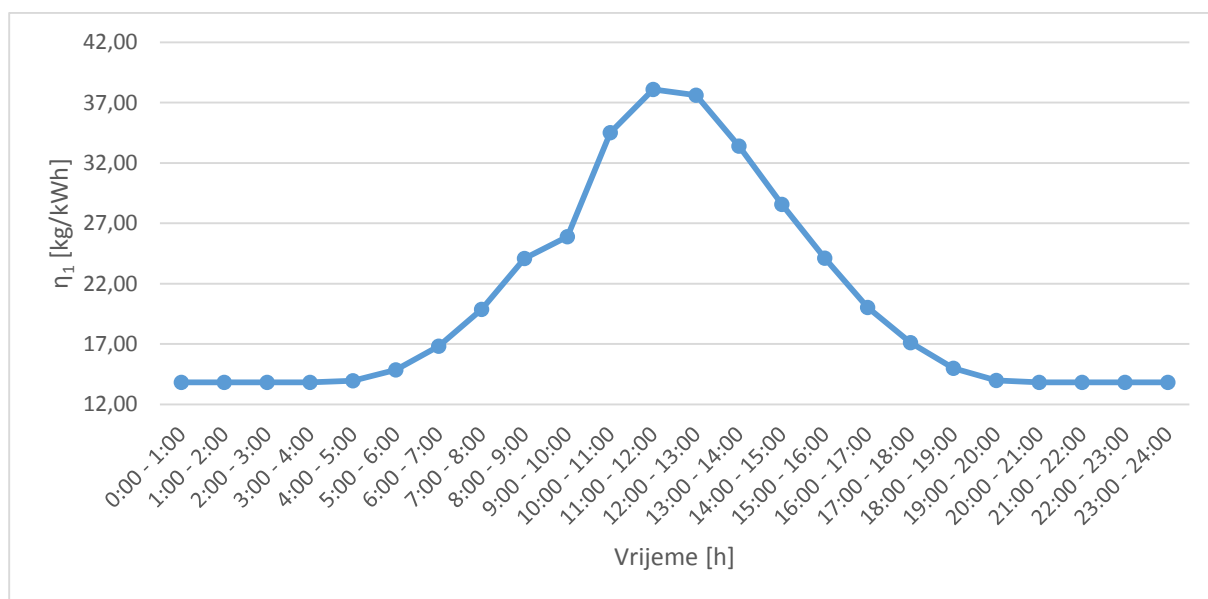
Srpanj									
vrijeme	Insolacija	Max snaga kolektora	Snaga kolektora	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpi	Ukupna toplinska en.	Ukupna električna en.	Faktor učinkovitosti 1
	W/m ²	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
0:00 - 1:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
1:00 - 2:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
2:00 - 3:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
3:00 - 4:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
4:00 - 5:00	11,00	30,89	30,89	2.785,91	788,5	40,0	30,89	3614,39	13,94
5:00 - 6:00	90,00	252,71	252,71	2.564,09	788,5	40,0	252,71	3392,57	14,86
6:00 - 7:00	231,00	648,63	648,63	2.168,17	788,5	40,0	648,63	2996,65	16,82
7:00 - 8:00	395,00	1.109,14	1.109,14	1.707,66	788,5	40,0	1109,14	2536,14	19,87
8:00 - 9:00	553,00	1.552,79	1.552,79	1.264,01	788,5	40,0	1552,79	2092,49	24,09
9:00 - 10:00	605,00	1.698,80	1.698,80	1.118,00	788,5	40,0	1698,80	1946,48	25,89
10:00 - 11:00	778,00	2.184,58	2.184,58	632,22	788,5	40,0	2184,58	1460,70	34,50
11:00 - 12:00	827,00	2.322,16	2.322,16	494,64	788,5	40,0	2322,16	1323,12	38,09
12:00 - 13:00	821,00	2.305,32	2.305,32	511,48	788,5	40,0	2305,32	1339,96	37,61
13:00 - 14:00	761,00	2.136,84	2.136,84	679,96	788,5	40,0	2136,84	1508,44	33,41
14:00 - 15:00	670,00	1.881,32	1.881,32	935,48	788,5	40,0	1881,32	1763,96	28,57
15:00 - 16:00	554,00	1.555,60	1.555,60	1.261,20	788,5	40,0	1555,60	2089,68	24,12
16:00 - 17:00	402,00	1.128,79	1.128,79	1.688,01	788,5	40,0	1128,79	2516,49	20,03
17:00 - 18:00	249,00	699,18	699,18	2.117,62	788,5	40,0	699,18	2946,10	17,11
18:00 - 19:00	100,00	280,79	280,79	2.536,01	788,5	40,0	280,79	3364,49	14,98
19:00 - 20:00	13,00	36,50	36,50	2.780,30	788,5	40,0	36,50	3608,78	13,97
20:00 - 21:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
21:00 - 22:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
22:00 - 23:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
23:00 - 24:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83



Slika 18. Omjer toplinskih tokova dovedenih spremniku - srpanj



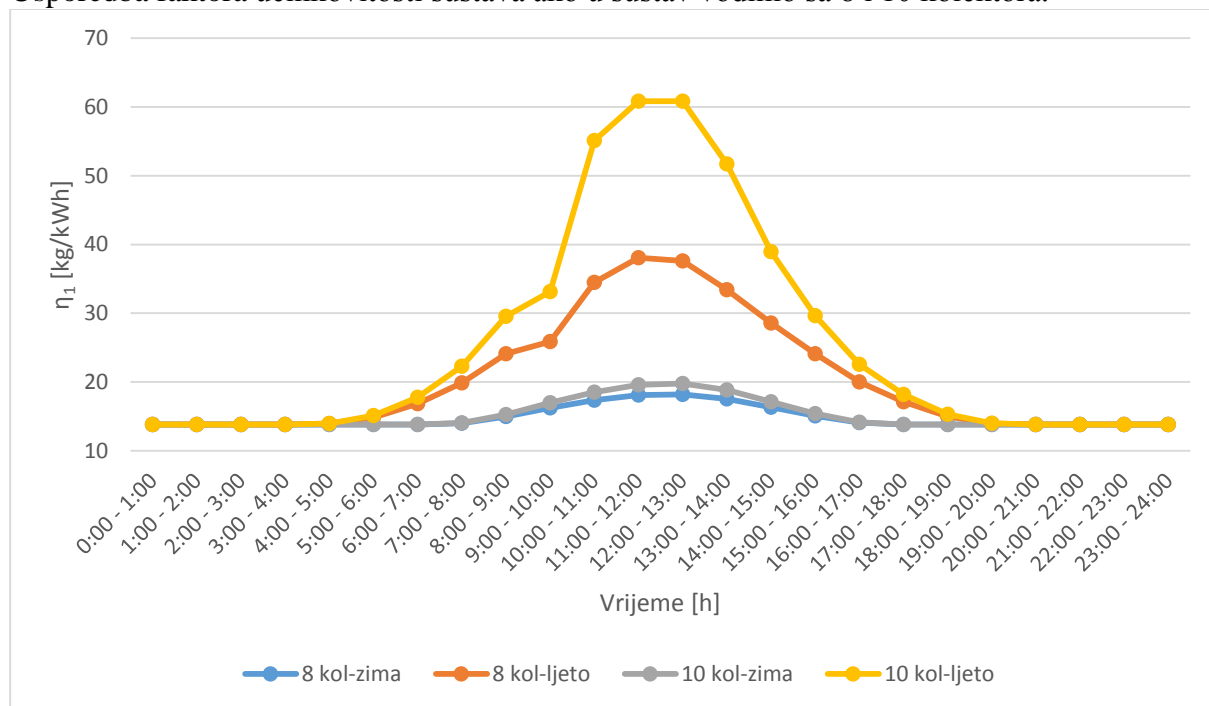
Slika 19. Omjer potrošnje pojedinih potrošača – srpanj



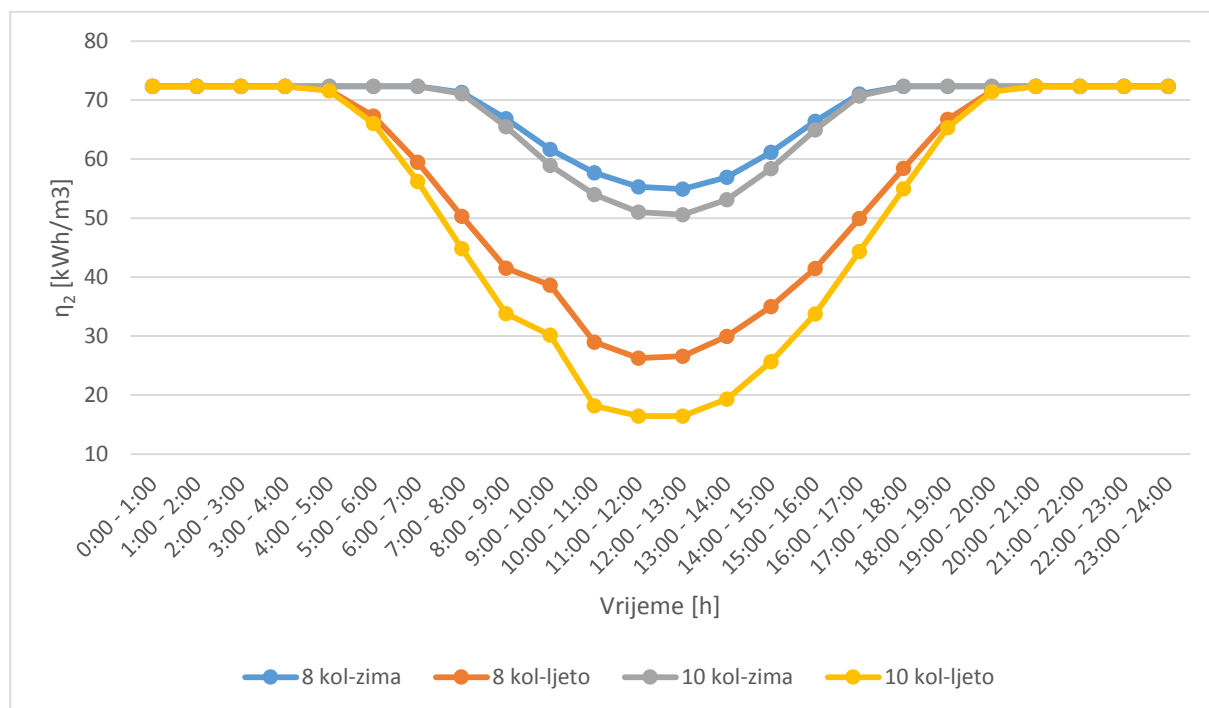
Slika 20. Učinkovitost sustava - srpanj

Učinkovitost sustava je izražena kao masa pitke vode koju dobijemo za uloženi 1 kWh električne energije.

Usporedba faktora učinkovitosti sustava ako u sustav vodimo sa 8 i 10 kolektora.



Slika 21. Usporedba učinkovitosti sustava kg/kWh



Slika 22. Usporedba učinkovitosti sustava kWh/m³

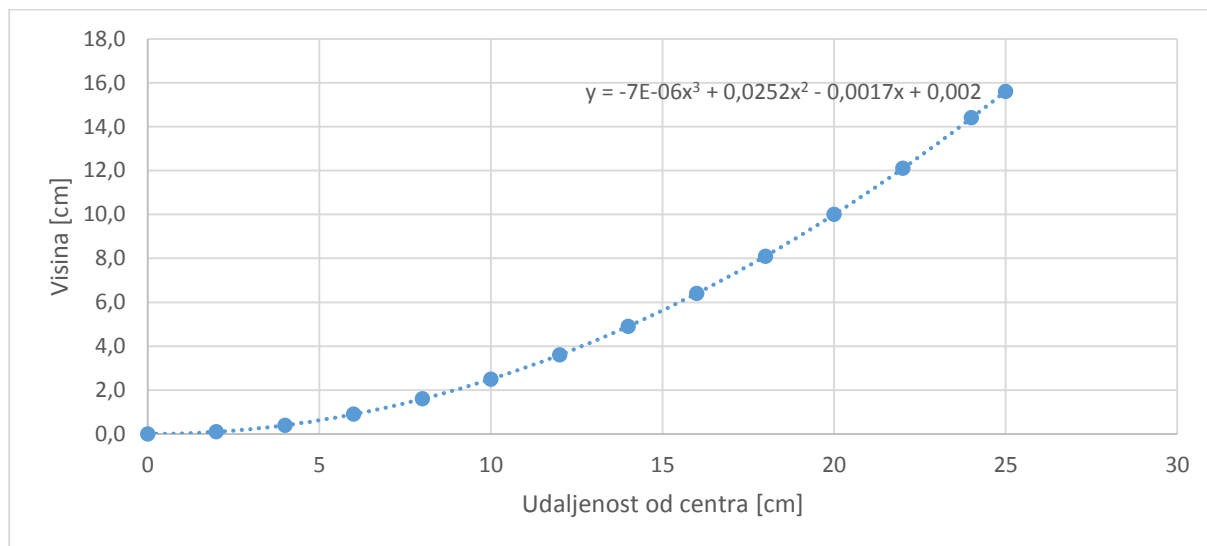
Učinkovitost sustava je izražena kao količina električne energije koju je potrebno uložiti za dobivanje 1m³ pitke vode.

Uočeno je da je kapacitet kolektora poddimenzioniran, zato jer je insolacija u realnim uvjetima značajno manja od projektne insolacije. Preporuča se ugradnja još 2 kolektora, tj povećanje površine kolektora za 1m².

7. JEDNOSTAVAN MODEL SOLARNOG KOLEKTORA

S ciljem provjere dobivenih vrijednosti eksperimentalnim metodama napravljena je pojednostavljena verzija solarnog kolektora. Solarni kolektor dimenzijama odgovara proračunatom kolektoru, a razlika se nalazi u apsorberskom dijelu. Apсорber čini čelična cijev promjera 22 mm. Cijev je premazana ne reflektirajućom (mat) crnom bojom kako bi se smanjili gubici refleksije. Zbog nemogućnosti nabavke staklene cijevi ona je u potpunosti izbačena.

Krivulja paraboličnog kolektora odredila se korištenjem literature za parabolična zrcala. Parametri koji se sami zadaju su površina i žarišna duljina, a jednačba krivulje se dobije na temelju tih dviju vrijednosti. Oblik se dobio korištenjem staklenih vlakana i polimerne smjese.



Slika 23. Krivulja paraboličnog zrcala

Mjerenje na kolektoru je provedeno na vrlo jednostavan način. U cijev koja se nalazi na žarišnoj udaljenosti paraboličnog zrcala se ulila voda određene temperature. Voda je u cijevi mirovala neki vremenski period nakon kojeg se mjerila razlika u temperaturi i ukupna masa vode.



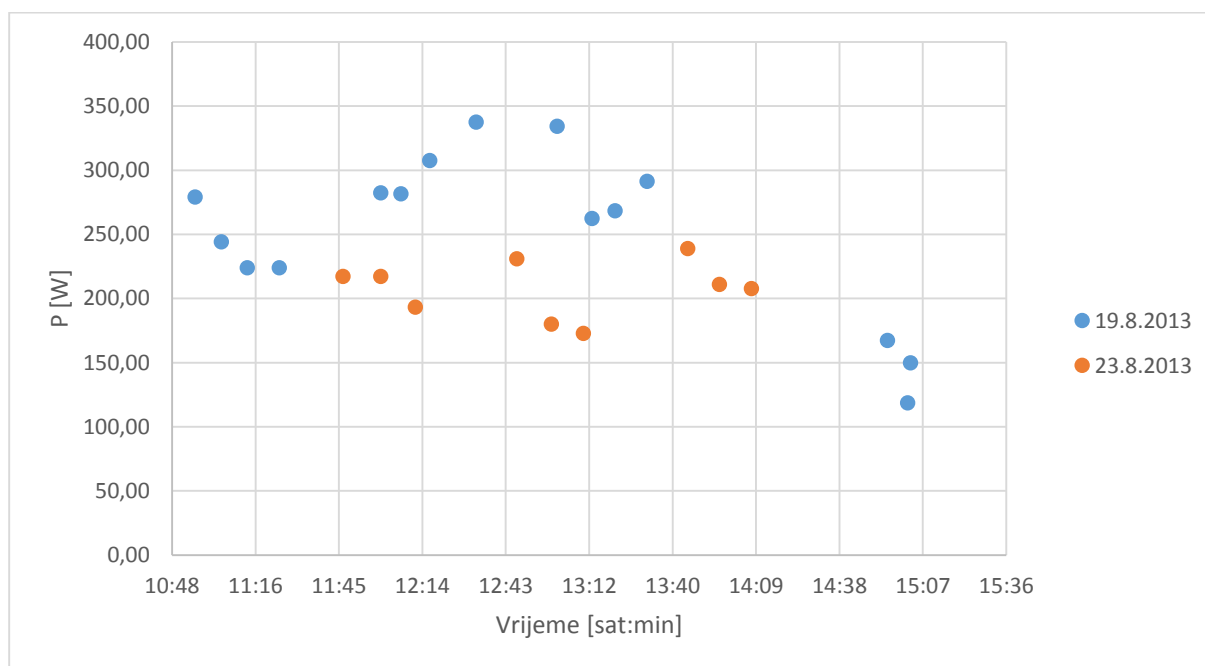
Slika 24. Jednostavan prototip solarnog kolektora

Tablica 7. Rezultati mjerenja 23.8.2013

Start	Trajanje	Temp razlika	Količina	Gustoća	Masa	Cp vode	Snaga
[hh:mm]	[min]	[°C]	[ccm]	[kg/m ³]	[kg]	[kJ/kgK]	[W]
11:47	5	19,7	800	990,22	0,792176	4,1788	217,38
12:00	5	19,7	800	990,22	0,792176	4,1788	217,38
12:12	5	18,7	750	990,22	0,742665	4,1788	193,45
12:47	5	19,7	850	990,22	0,841687	4,1788	230,97
12:59	5	17,4	750	990,22	0,742665	4,1788	180,00
13:10	5	16,7	750	990,22	0,742665	4,1788	172,76
13:46	5	23,1	750	990,22	0,742665	4,1788	238,97
13:57	5	20,4	750	990,22	0,742665	4,1788	211,03
14:08	5	20,1	750	990,22	0,742665	4,1788	207,93

Tablica 8. Rezultati mjerenja 19.8.2013

Start	Trajanje	Temp razlika	Količina	Gustoća	Masa	Cp vode	Snaga
[hh:mm]	[min]	[°C]	[ccm]	[kg/m ³]	[kg]	[kJ/kgK]	[W]
10:56	5	22,5	900	990,22	0,891198	4,1788	279,31
11:05	6	25	850	990,22	0,841687	4,1788	244,25
11:14	6	26	750	990,22	0,742665	4,1788	224,14
11:25	6	26	750	990,22	0,742665	4,1788	224,14
12:00	6	27	910	990,22	0,9011	4,1788	282,41
12:07	6	24,5	1000	990,22	0,99022	4,1788	281,61
12:17	6	26,5	1010	990,22	1,000122	4,1788	307,64
12:33	5	24	1020	990,22	1,010024	4,1788	337,66
13:01	5	24	1010	990,22	1,000122	4,1788	334,34
13:13	5	19	1000	992,22	0,99222	4,1786	262,59
13:21	5	18,5	1050	992,22	1,041831	4,1786	268,46
13:32	5	22	960	990,22	0,950611	4,1788	291,31
14:55	6	14,5	1000	994,04	0,99404	4,179	167,32
15:03	6	13	1000	994,04	0,99404	4,179	150,01
15:02	6	10,5	980	994,04	0,974159	4,179	118,74



Slika 25. Dijagramom prikazani rezultati mjerenja

Dijagramom su prikazane točke koje odgovaraju snazi jednog kolektora za određeno vrijeme kada se mjerenje provodilo. Vrijednosti dobivene eksperimentom su očekivane te potvrđuju vrijednosti koje su dobivene proračunom.

8. ZAKLJUČAK

U radu je opisan postupak razvoja prototipa solarnog desalinizatora i optimizacije sustava. Predstavljena je metoda proračuna i dimenzije svih komponenti. Optimizacija se sastojala od promjene određenih parametara s ciljem dobivanja dimenzija komponenti pri kojima će sustav raditi sa maksimalnom učinkovitošću. Pokušao se stvoriti sustav koji će svojom učinkovitošću moći konkurirati najčešće korištenom sustavu za dobivanje pitke vode tj. reverznoj osmozi.

Električna energija potrebna za dobivanje 1 m³ pitke vode primjenom postupka reverzne osmoze iznosi 5 kWh, a kako je proračunom pokazano da naš sustav za jednaku količinu vode potroši 16 kWh, odmah nam je jasno da naš sustav nije energetske/ekonomske isplativ. Prilikom optimizacije su provedeni proračuni gdje se više parametara mijenjalo, te se proučavao utjecaj pojedinih komponenti na učinkovitost sustava. Ustanovljeno je da je kompresor glavni faktor koji utječe na promjenu učinkovitosti solarnog desalinizatora. U proračunu je radi pojednostavljenja cijelog sustava računato sa kompresorom pokretanim električnom energijom, ali kako postoje kompresori pokretani solarnom energijom energetske potrebe bi se mogle značajno promijeniti. Vrijednosti snage kompresora su varirale od 0 do 1.600 W, a snaga kolektora od 2.000 do 32.000 W. U slučaju kad smo proračun radili bez korištenja kompresora, snaga rekuperatora se smanjila sa 38.500 W na 7.200 W, a ovo smanjenje u snazi se moralo nadoknaditi kolektorom kojemu se snaga, a time i dimenzije povećale 12 puta. Kao optimum je odabran sustav gdje kompresor radi sa minimalnom snagom, ali svejedno svojim radom omogućuje rekuperatoru učinkovit rad.

U planu je uvođenje solarnog kompresora iliti Stirlingovog motora u sustav te ponovno dimenzioniranje, optimizacija i izrada simulacije rada sustava. Kako Stirlingov motor za pogon koristi toplinsku, a ne električnu energiju, smatra se da bi učinkovitost ovakvog sustava bila veća od učinkovitosti reverzne osmoze, a time bi se ostvarili željeni ciljevi.

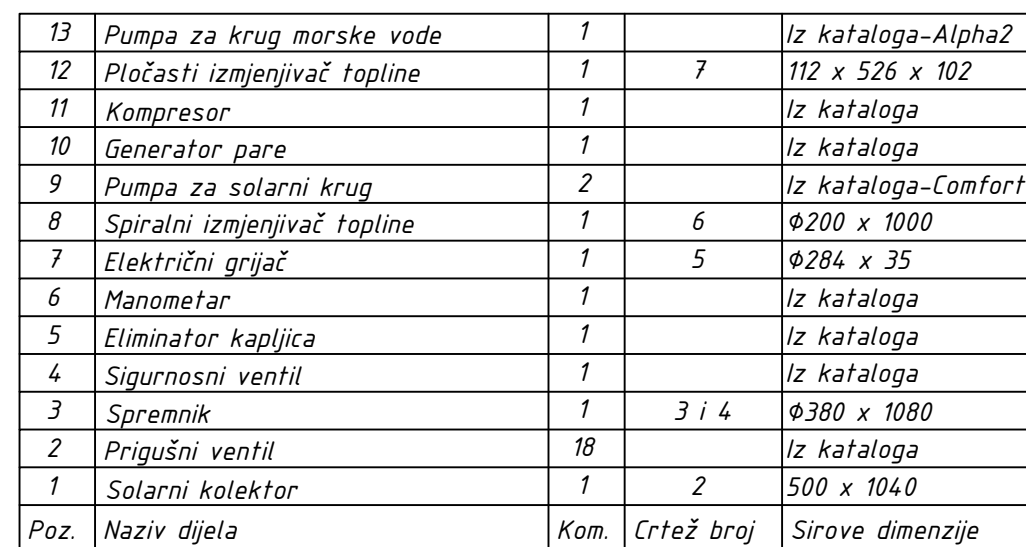
LITERATURA


- [1] Halasz B., Galović A., Boras I., Toplinske tablice, 2007.
- [2] Galović A.: Termodinamika II, Zagreb, 2010.
- [3] Dović, D.: The analysis of single phase flow in chevron channels of plate heat exchangers
- [4] Alfa Laval, Brazed Plate Heat Exchangers,
- [5] Jokar A., Hosni M., Eckels S.: Dimensional analysis on the evaporation and condensation of refrigerant R-134a in minichannel plate heat exchangers
- [6] Buongiorno J.: Notes on two-phase flow, boiling heat transfer, and boiling crises IN PWRs AND BWRs
- [7] Duffie J., Beckman W.: Solar engineering of thermal processes, 2006.
- [8] Twidell J., Weir T.: Renewable energy resources, Second edition, 2006.
- [9] VDI Heat Atlas, Second edition, 2010.
- [10] Virag Z., Odabrana poglavlja iz mehanike fluida, 2005.
- [11] Kraut B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.

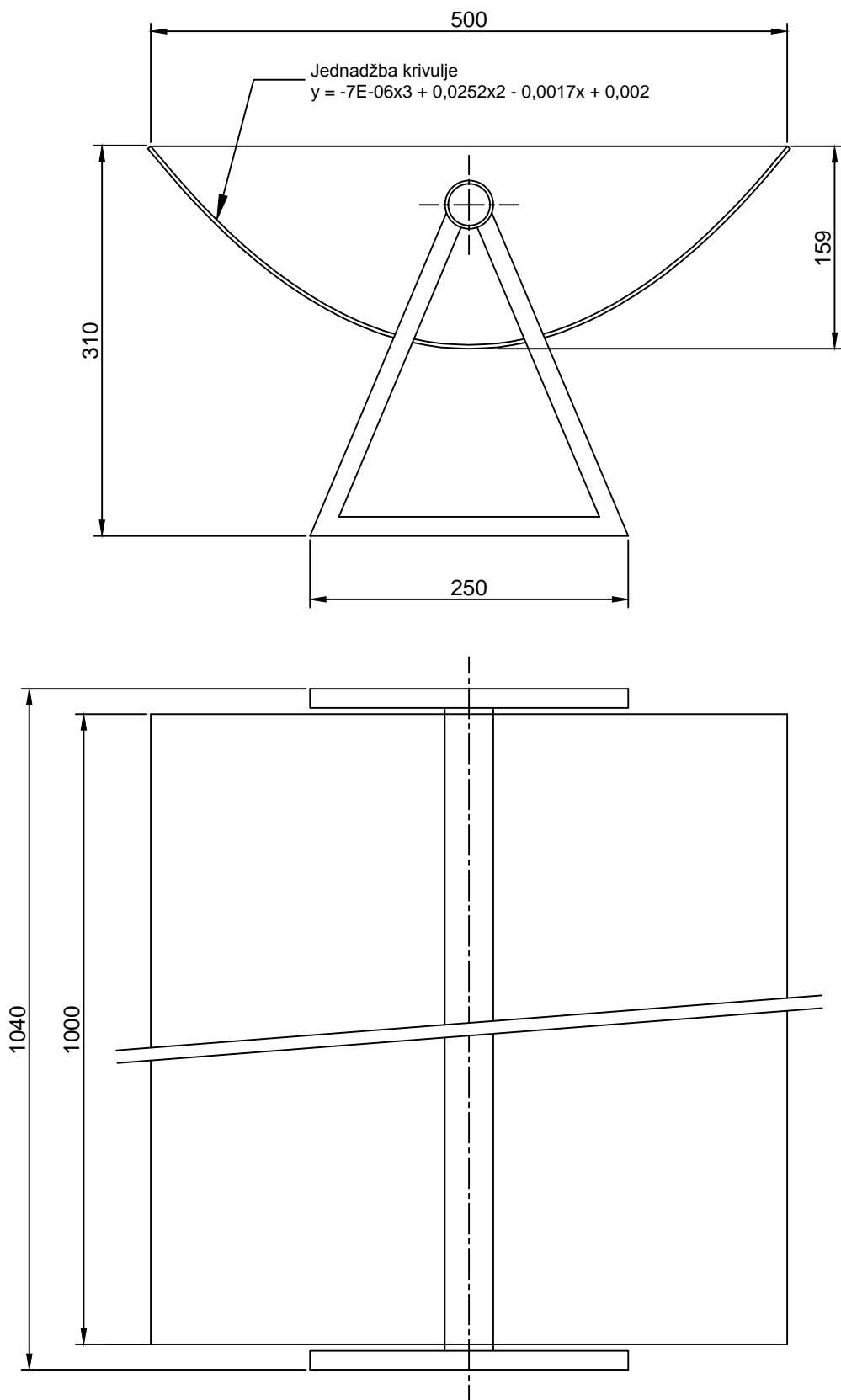
PRILOZI


- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija
- III. Simulacija rada sustava za svaki mjesec kroz jednu karakterističnu godinu
- IV. Prikaz učinkovitosti sustava kroz cijelu godinu po mjesecima prilikom promjene broja kolektora

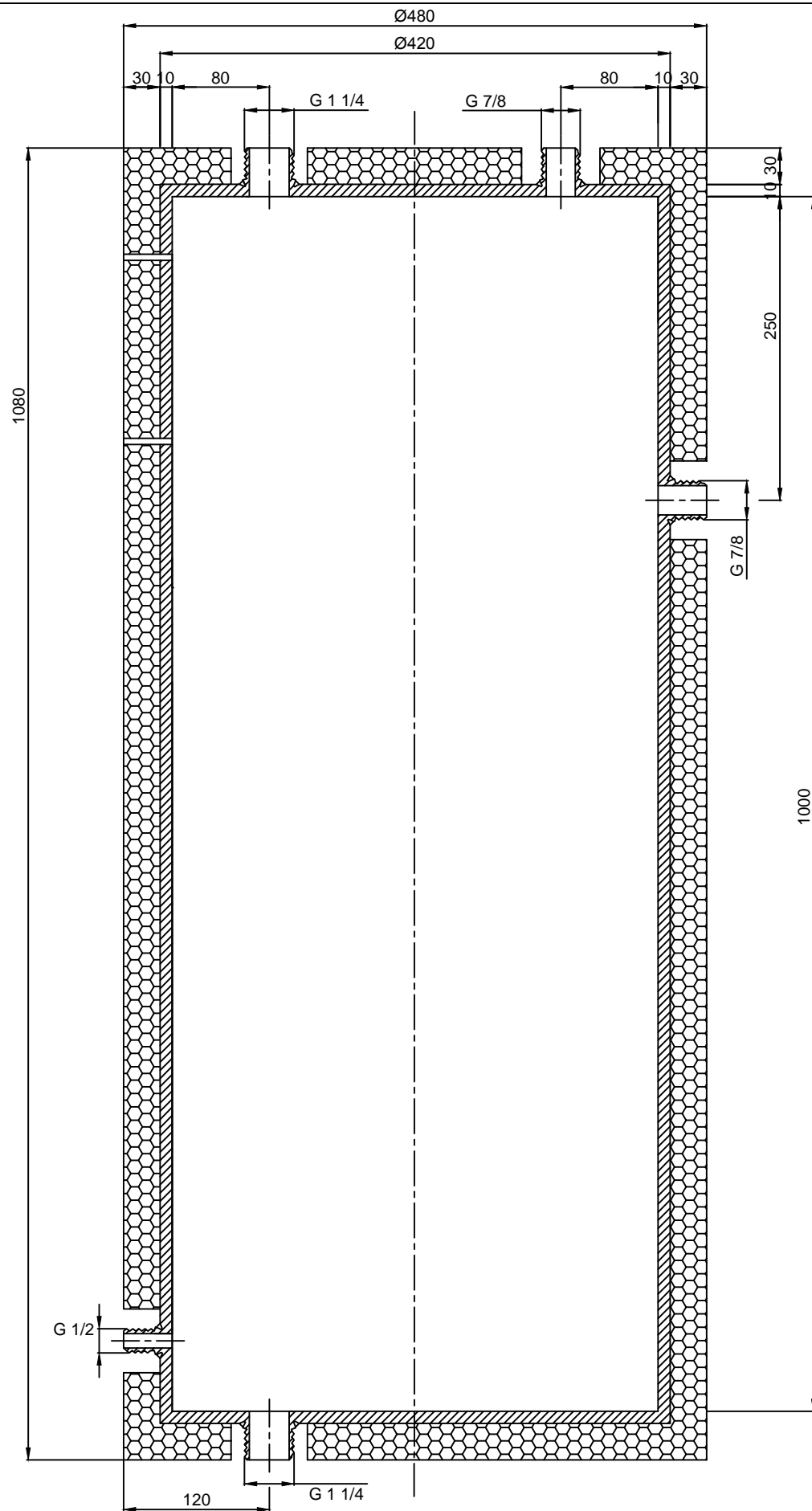
Prilog II



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Razradio	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Crtao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Pregledao	10.1.2014.	Damir Dović, dipl. ing.		
Objekt: <i>Shema solarnog desalinizatora</i>			Crtež broj: 1	
			Mjerilo: 1:8	

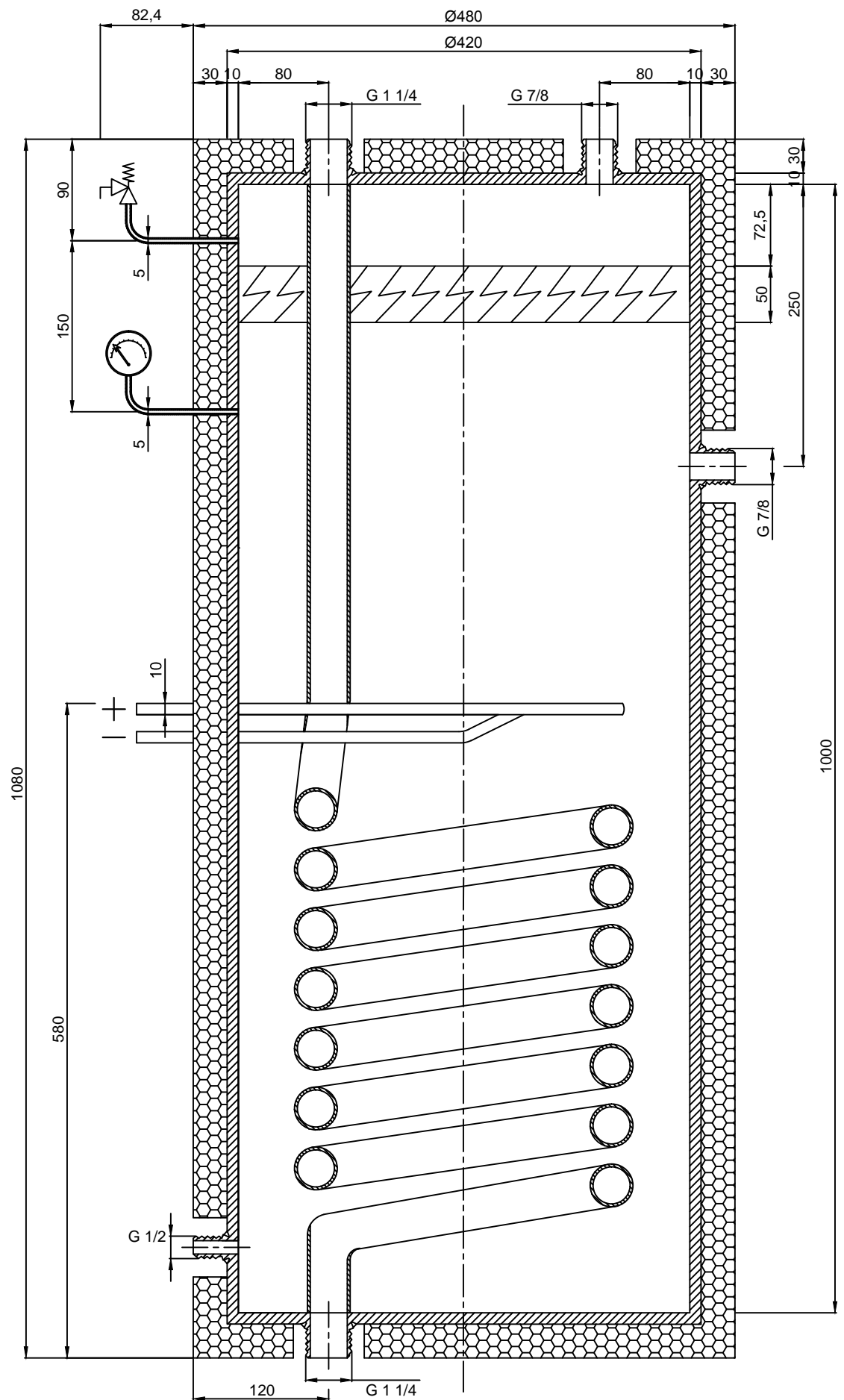


	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Razradio	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Crtao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Pregledao	10.1.2014.	Damir Dović, dipl. ing.		
Objekt: Solarni kolektor			Crtež broj: 2	
			Mjerilo: 1:4	



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	10.1.2014.	Ivan Barbarić	
Razradio	10.1.2014.	Ivan Barbarić	
Crtao	10.1.2014.	Ivan Barbarić	
Pregledao	10.1.2014.	Damir Dović, dipl. ing.	
Objekt: Prazan spremnik			Crtež broj: 3
			Mjerilo: 1:5





	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	10.1.2014.	Ivan Barbarić	
Razradio	10.1.2014.	Ivan Barbarić	
Crtao	10.1.2014.	Ivan Barbarić	
Pregledao	10.1.2014.	Damir Dović, dipl. ing.	

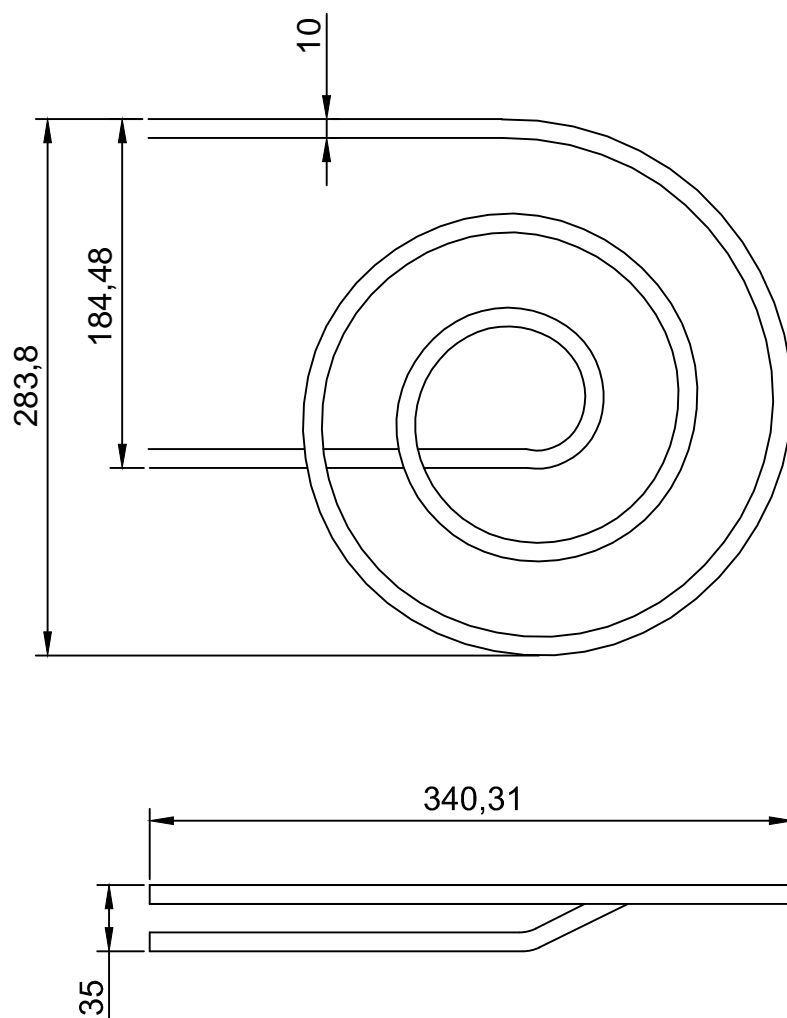
 FSB Zagreb


Objekt:
Spremnik sa ugrađenom opremom

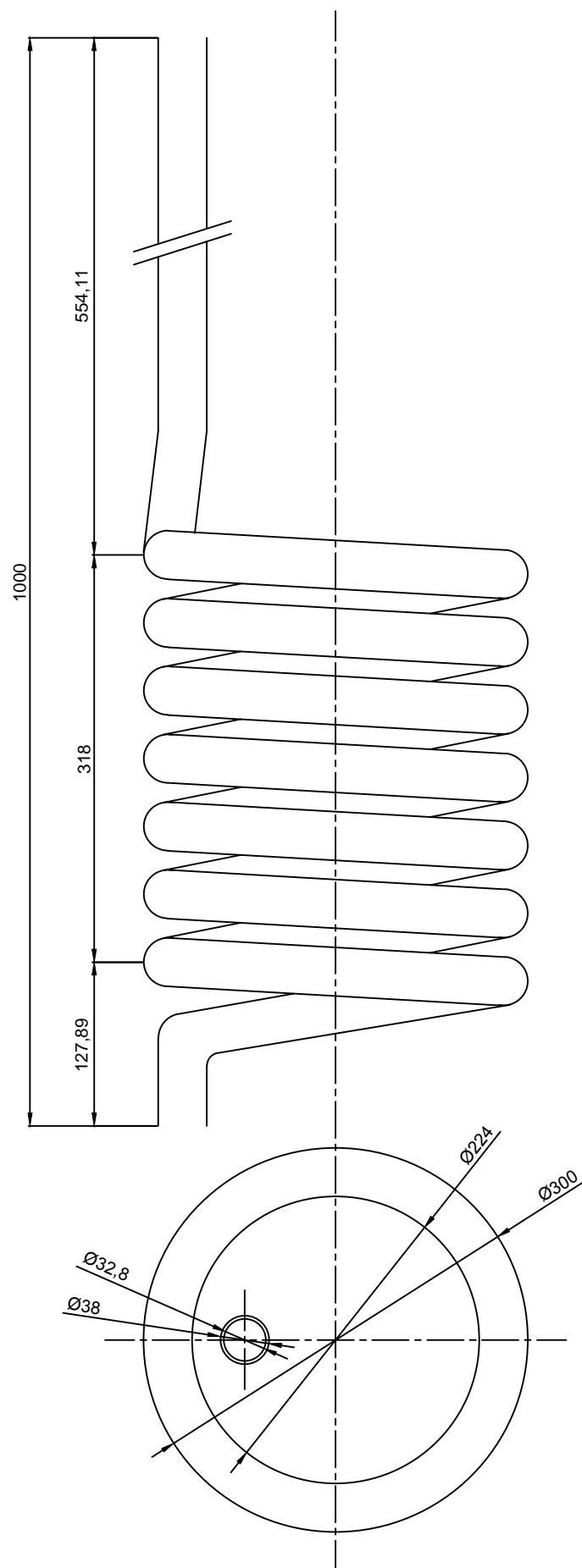
Crtež broj: 4


Mjerilo: 1:5

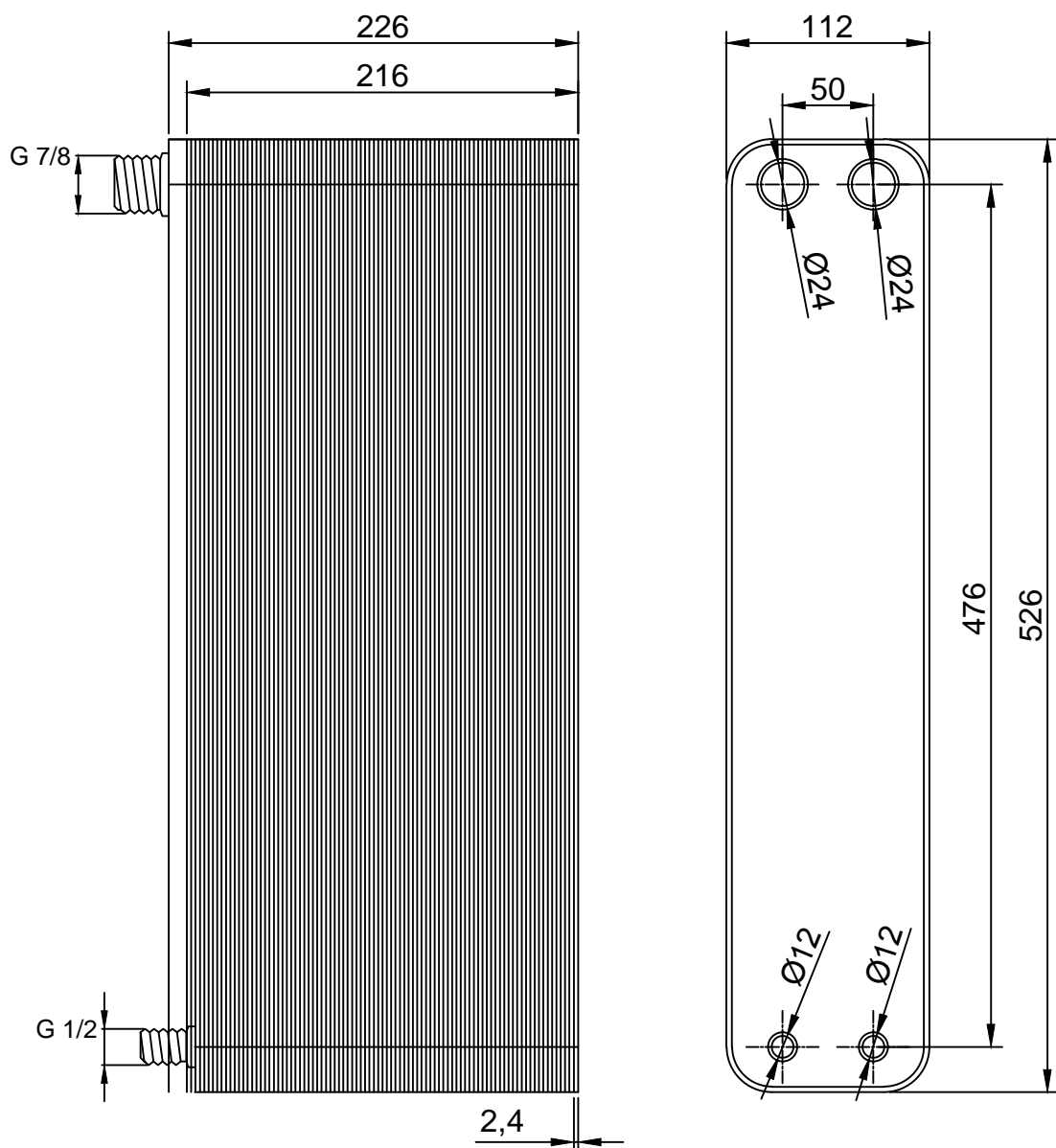
$L = 1760 \text{ mm}$




	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Razradio	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Crtao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Pregledao	10.1.2014.	Damir Dović, dipl. ing.		
Objekt:			Crtež broj: 5	
Električni grijač			Mjerilo: 1:4	



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Razradio	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Crtao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Pregledao	10.1.2014.	Damir Dović, dipl. ing.		
Objekt:			Crtež broj: 6	
Spiralni izmjenjivač topline			Mjerilo: 1:5	



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Razradio	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Crtao	10.1.2014.	Ivan Barbarić		
Pregledao	10.1.2014.	Damir Dović, dipl. ing.		
Objekt:			Crtež broj: 7	
Pločasti izmjenjivač topline			Mjerilo: 1:4	

Prilog III

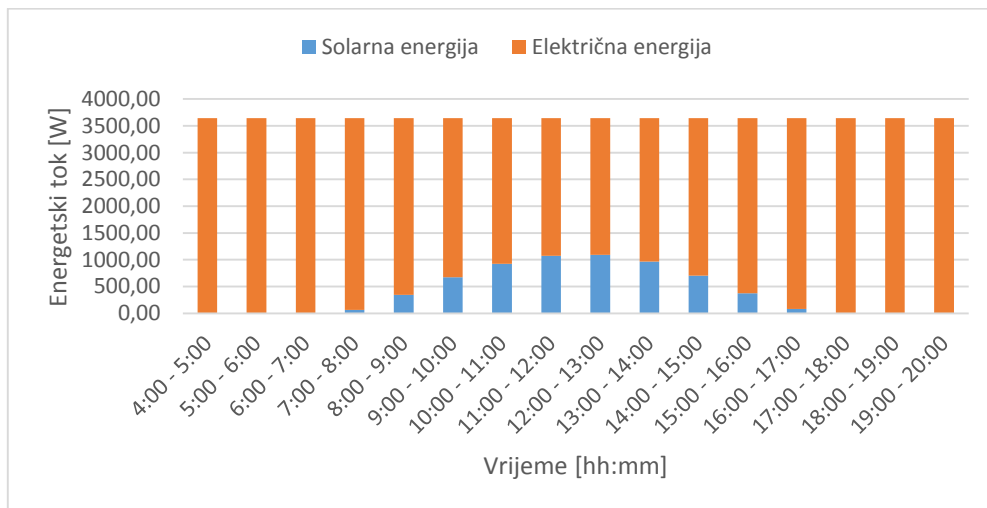
Simulacija rada sustava za svaki mjesec
kroz jednu karakterističnu godinu

Broj kolektora: 10

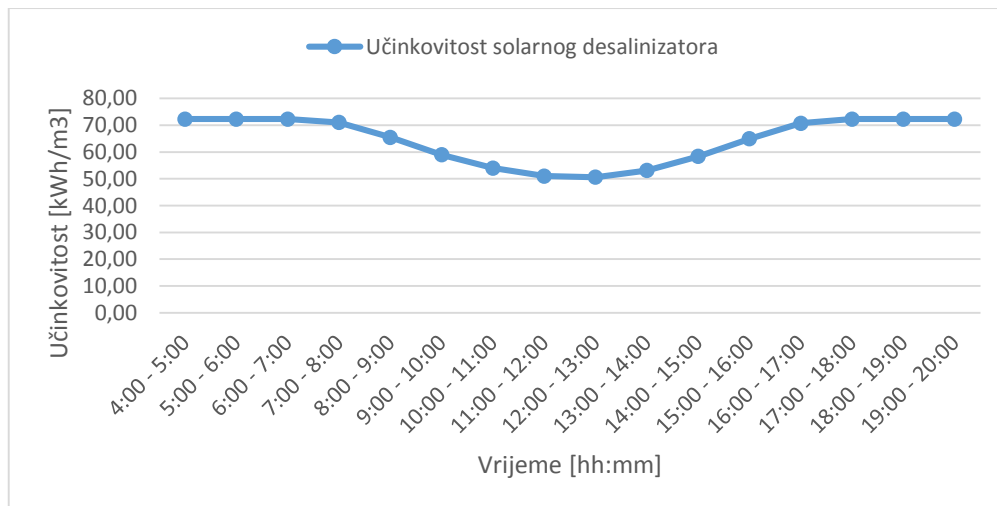
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec siječanj.

Siječanj									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
5:00 - 6:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
6:00 - 7:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
7:00 - 8:00	18,00	63,18	63,18	2.753,62	788,5	40,0	63,18	3582,10	14,07
8:00 - 9:00	98,00	343,97	343,97	2.472,83	788,5	40,0	343,97	3301,31	15,27
9:00 - 10:00	192,00	673,91	673,91	2.142,89	788,5	40,0	673,91	2971,37	16,96
10:00 - 11:00	263,00	923,11	923,11	1.893,69	788,5	40,0	923,11	2722,17	18,51
11:00 - 12:00	306,00	1.074,04	1.074,04	1.742,76	788,5	40,0	1.074,04	2571,24	19,60
12:00 - 13:00	312,00	1.095,10	1.095,10	1.721,70	788,5	40,0	1.095,10	2550,18	19,76
13:00 - 14:00	276,00	968,74	968,74	1.848,06	788,5	40,0	968,74	2676,54	18,83
14:00 - 15:00	200,00	701,98	701,98	2.114,82	788,5	40,0	701,98	2943,30	17,12
15:00 - 16:00	106,00	372,05	372,05	2.444,75	788,5	40,0	372,05	3273,23	15,40
16:00 - 17:00	23,00	80,73	80,73	2.736,07	788,5	40,0	80,73	3564,55	14,14
17:00 - 18:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
18:00 - 19:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
19:00 - 20:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



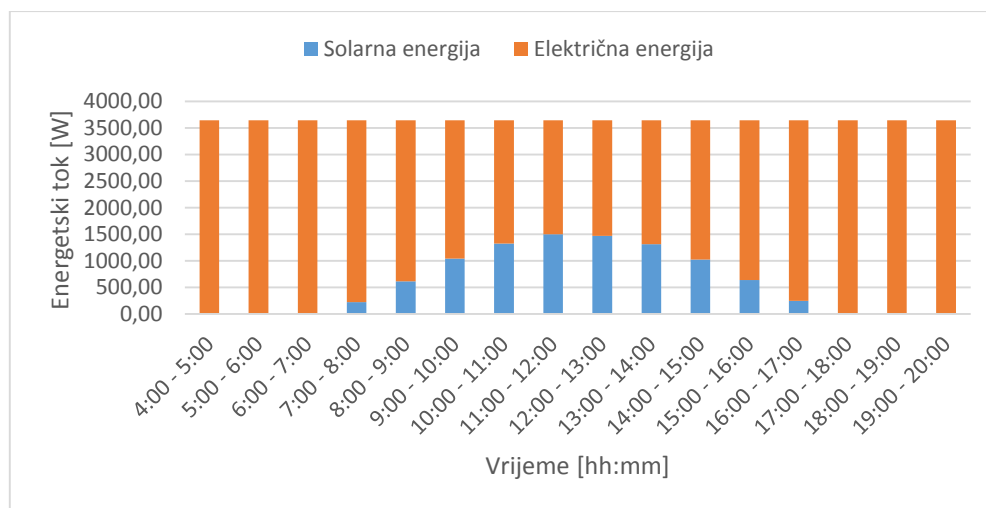
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



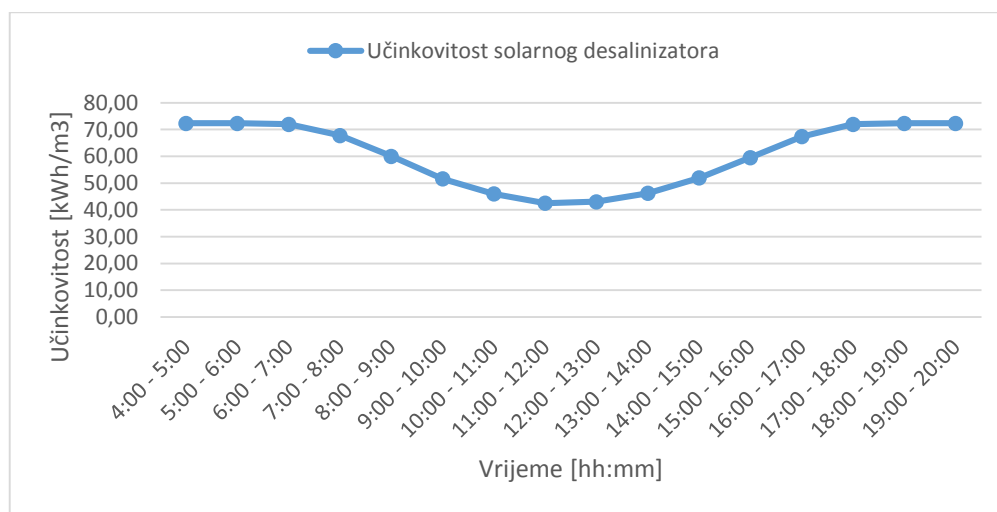
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec veljaču.

Veljača									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
5:00 - 6:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
6:00 - 7:00	5,00	17,55	17,55	2.799,25	788,5	40,0	17,55	3627,73	13,89
7:00 - 8:00	65,00	228,14	228,14	2.588,66	788,5	40,0	228,14	3417,14	14,75
8:00 - 9:00	176,00	617,75	617,75	2.199,05	788,5	40,0	617,75	3027,53	16,65
9:00 - 10:00	297,00	1.042,45	1.042,45	1.774,35	788,5	40,0	1042,45	2602,83	19,36
10:00 - 11:00	378,00	1.326,75	1.326,75	1.490,05	788,5	40,0	1326,75	2318,53	21,74
11:00 - 12:00	428,00	1.502,25	1.502,25	1.314,55	788,5	40,0	1502,25	2143,03	23,52
12:00 - 13:00	420,00	1.474,17	1.474,17	1.342,63	788,5	40,0	1474,17	2171,11	23,21
13:00 - 14:00	375,00	1.316,22	1.316,22	1.500,58	788,5	40,0	1316,22	2329,06	21,64
14:00 - 15:00	292,00	1.024,90	1.024,90	1.791,90	788,5	40,0	1024,90	2620,38	19,23
15:00 - 16:00	183,00	642,32	642,32	2.174,48	788,5	40,0	642,32	3002,96	16,78
16:00 - 17:00	71,00	249,20	249,20	2.567,60	788,5	40,0	249,20	3396,08	14,84
17:00 - 18:00	5,00	17,55	17,55	2.799,25	788,5	40,0	17,55	3627,73	13,89
18:00 - 19:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
19:00 - 20:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



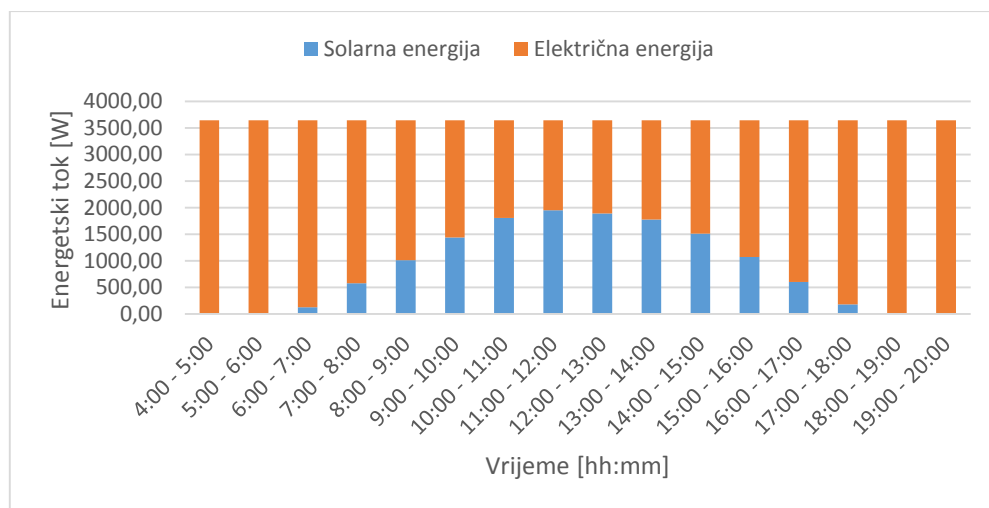
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



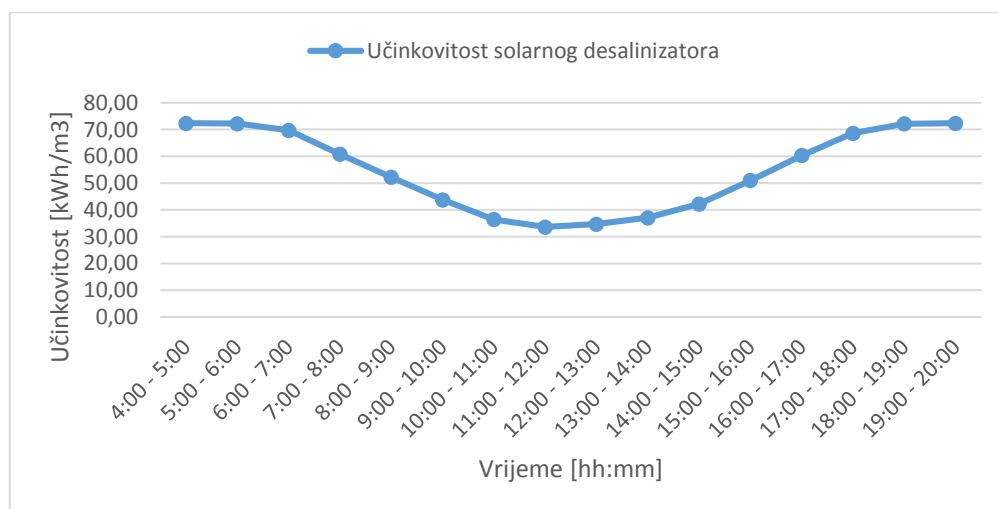
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec ožujak.

Ožujak									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
5:00 - 6:00	1,00	3,51	3,51	2.813,29	788,5	40,0	3,51	3641,77	13,84
6:00 - 7:00	37,00	129,87	129,87	2.686,93	788,5	40,0	129,87	3515,41	14,34
7:00 - 8:00	165,00	579,14	579,14	2.237,66	788,5	40,0	579,14	3066,14	16,44
8:00 - 9:00	289,00	1.014,37	1.014,37	1.802,43	788,5	40,0	1014,37	2630,91	19,16
9:00 - 10:00	410,00	1.439,07	1.439,07	1.377,73	788,5	40,0	1439,07	2206,21	22,84
10:00 - 11:00	515,00	1.807,61	1.807,61	1.009,19	788,5	40,0	1807,61	1837,67	27,43
11:00 - 12:00	556,00	1.951,52	1.951,52	865,28	788,5	40,0	1951,52	1693,76	29,76
12:00 - 13:00	540,00	1.895,36	1.895,36	921,44	788,5	40,0	1895,36	1749,92	28,80
13:00 - 14:00	506,00	1.776,02	1.776,02	1.040,78	788,5	40,0	1776,02	1869,26	26,96
14:00 - 15:00	432,00	1.516,29	1.516,29	1.300,51	788,5	40,0	1516,29	2128,99	23,67
15:00 - 16:00	306,00	1.074,04	1.074,04	1.742,76	788,5	40,0	1074,04	2571,24	19,60
16:00 - 17:00	172,00	603,71	603,71	2.213,09	788,5	40,0	603,71	3041,57	16,57
17:00 - 18:00	53,00	186,03	186,03	2.630,77	788,5	40,0	186,03	3459,25	14,57
18:00 - 19:00	2,00	7,02	7,02	2.809,78	788,5	40,0	7,02	3638,26	13,85
19:00 - 20:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



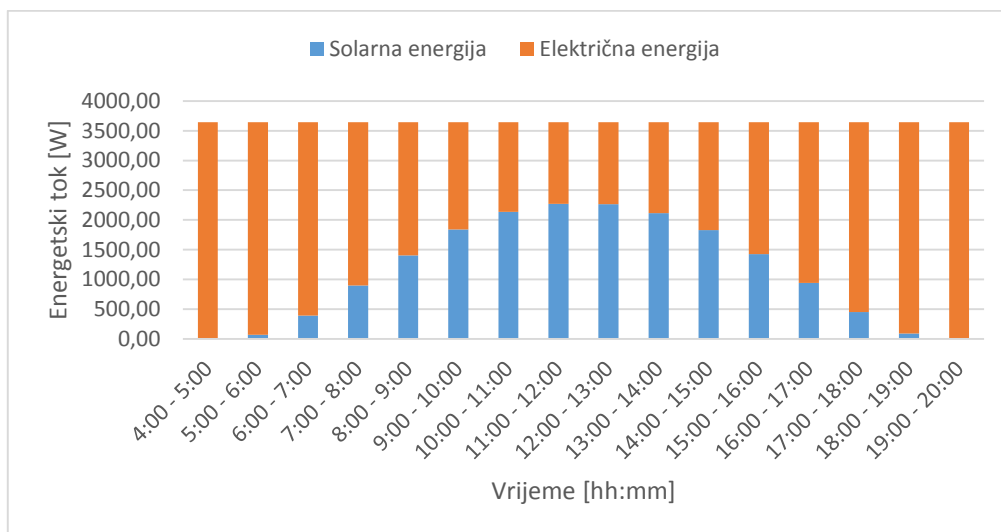
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



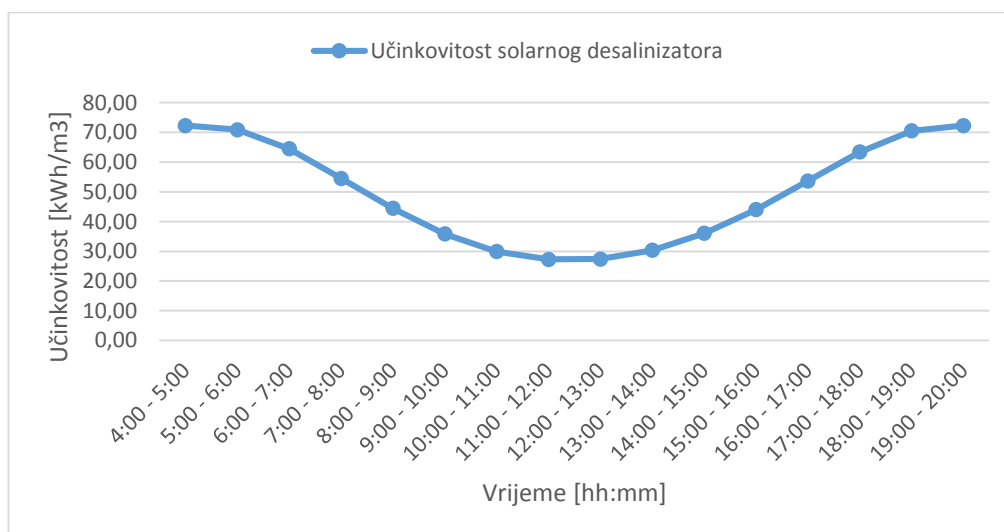
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec travanj.

Travanj									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
5:00 - 6:00	20,00	70,20	70,20	2.746,60	788,5	40,0	70,20	3575,08	14,10
6:00 - 7:00	112,00	393,11	393,11	2.423,69	788,5	40,0	393,11	3252,17	15,50
7:00 - 8:00	255,00	895,03	895,03	1.921,77	788,5	40,0	895,03	2750,25	18,33
8:00 - 9:00	400,00	1.403,97	1.403,97	1.412,83	788,5	40,0	1403,97	2241,31	22,49
9:00 - 10:00	524,00	1.839,20	1.839,20	977,60	788,5	40,0	1839,20	1806,08	27,91
10:00 - 11:00	609,00	2.137,54	2.137,54	679,26	788,5	40,0	2137,54	1507,74	33,43
11:00 - 12:00	647,00	2.270,92	2.270,92	545,88	788,5	40,0	2270,92	1374,36	36,67
12:00 - 13:00	645,00	2.263,90	2.263,90	552,90	788,5	40,0	2263,90	1381,38	36,49
13:00 - 14:00	603,00	2.116,48	2.116,48	700,32	788,5	40,0	2116,48	1528,80	32,97
14:00 - 15:00	521,00	1.828,67	1.828,67	988,13	788,5	40,0	1828,67	1816,61	27,74
15:00 - 16:00	406,00	1.425,03	1.425,03	1.391,77	788,5	40,0	1425,03	2220,25	22,70
16:00 - 17:00	268,00	940,66	940,66	1.876,14	788,5	40,0	940,66	2704,62	18,63
17:00 - 18:00	128,00	449,27	449,27	2.367,53	788,5	40,0	449,27	3196,01	15,77
18:00 - 19:00	26,00	91,26	91,26	2.725,54	788,5	40,0	91,26	3554,02	14,18
19:00 - 20:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



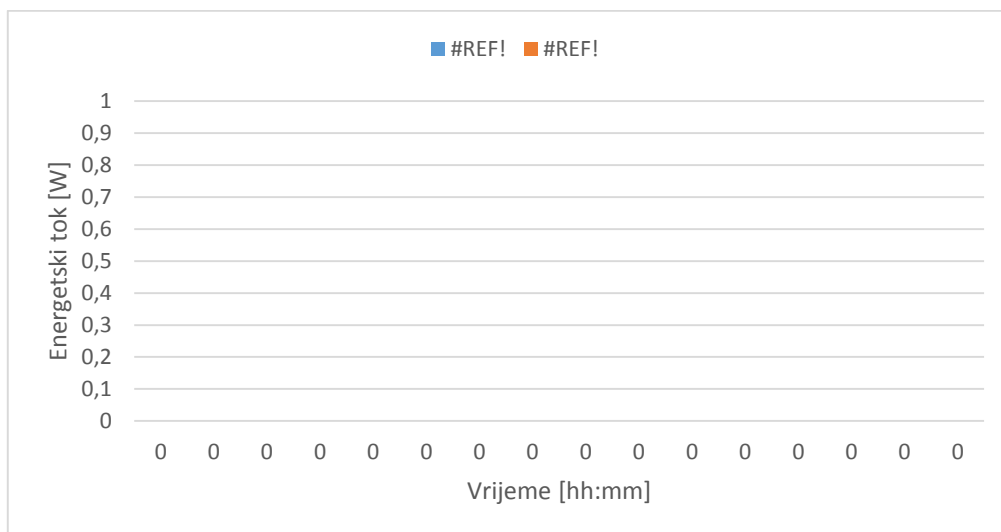
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



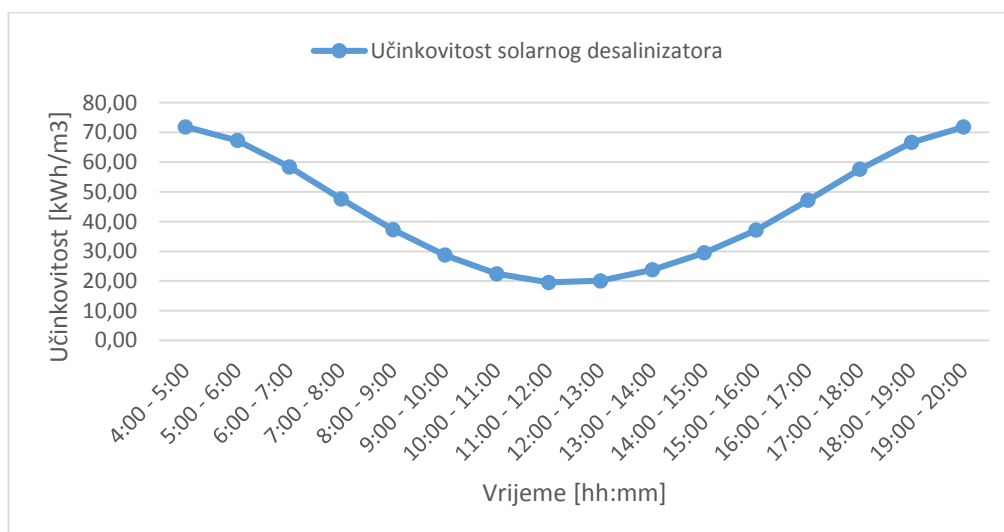
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec svibanj.

Svibanj									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	6,00	21,06	21,06	2.795,74	788,5	40,0	21,06	3624,22	13,91
5:00 - 6:00	72,00	252,71	252,71	2.564,09	788,5	40,0	252,71	3392,57	14,86
6:00 - 7:00	200,00	701,98	701,98	2.114,82	788,5	40,0	701,98	2943,30	17,12
7:00 - 8:00	354,00	1.242,51	1.242,51	1.574,29	788,5	40,0	1242,51	2402,77	20,98
8:00 - 9:00	503,00	1.765,49	1.765,49	1.051,31	788,5	40,0	1765,49	1879,79	26,81
9:00 - 10:00	626,00	2.197,21	2.197,21	619,59	788,5	40,0	2197,21	1448,07	34,80
10:00 - 11:00	716,00	2.513,10	2.513,10	303,70	788,5	40,0	2513,10	1132,18	44,52
11:00 - 12:00	758,00	2.660,52	2.660,52	156,28	788,5	40,0	2660,52	984,76	51,18
12:00 - 13:00	750,00	2.632,44	2.632,44	184,36	788,5	40,0	2632,44	1012,84	49,76
13:00 - 14:00	697,00	2.446,42	2.446,42	370,38	788,5	40,0	2446,42	1198,86	42,04
14:00 - 15:00	615,00	2.158,60	2.158,60	658,20	788,5	40,0	2158,60	1486,68	33,90
15:00 - 16:00	505,00	1.772,51	1.772,51	1.044,29	788,5	40,0	1772,51	1872,77	26,91
16:00 - 17:00	361,00	1.267,08	1.267,08	1.549,72	788,5	40,0	1267,08	2378,20	21,19
17:00 - 18:00	211,00	740,59	740,59	2.076,21	788,5	40,0	740,59	2904,69	17,35
18:00 - 19:00	81,00	284,30	284,30	2.532,50	788,5	40,0	284,30	3360,98	15,00
19:00 - 20:00	7,00	24,57	24,57	2.792,23	788,5	40,0	24,57	3620,71	13,92

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



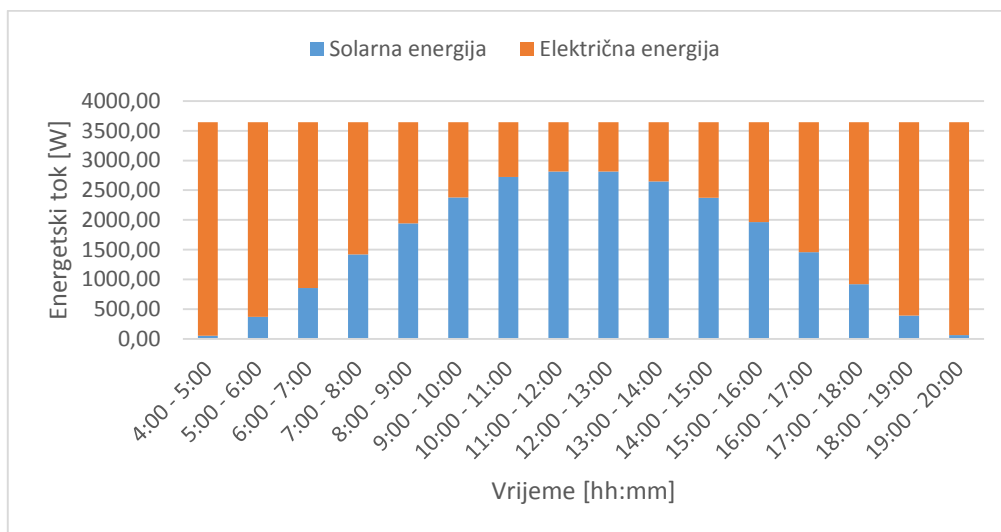
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



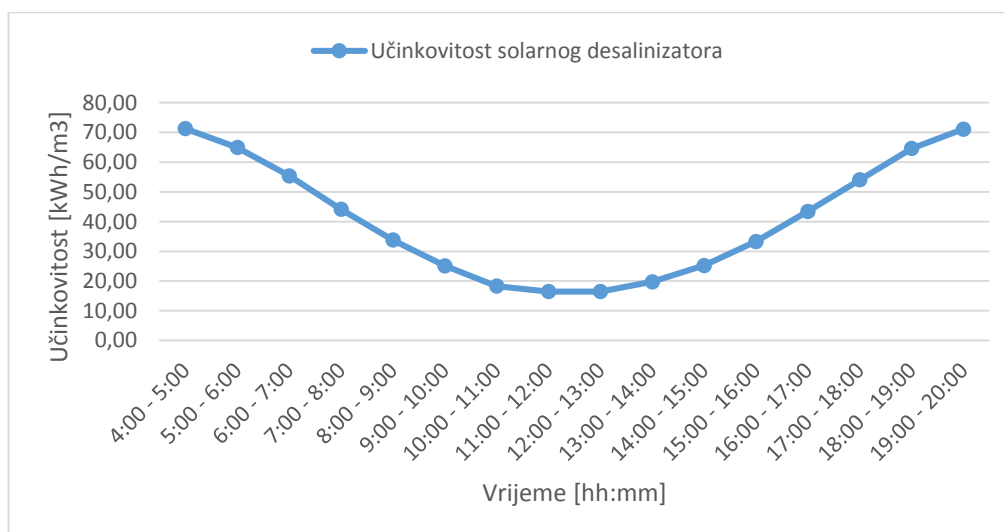
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec lipanj.

Lipanj									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	15,00	52,65	52,65	2.764,15	788,5	40,0	52,65	3592,63	14,03
5:00 - 6:00	106,00	372,05	372,05	2.444,75	788,5	40,0	372,05	3273,23	15,40
6:00 - 7:00	243,00	852,91	852,91	1.963,89	788,5	40,0	852,91	2792,37	18,05
7:00 - 8:00	405,00	1.421,52	1.421,52	1.395,28	788,5	40,0	1.421,52	2223,76	22,66
8:00 - 9:00	553,00	1.940,99	1.940,99	875,81	788,5	40,0	1.940,99	1704,29	29,57
9:00 - 10:00	678,00	2.379,73	2.379,73	437,07	788,5	40,0	2.379,73	1265,55	39,82
10:00 - 11:00	776,00	2.723,70	2.723,70	93,10	788,5	40,0	2.723,70	921,58	54,69
11:00 - 12:00	816,00	2.864,10	2.816,80	0,00	788,5	40,0	2.816,80	828,48	60,83
12:00 - 13:00	810,00	2.843,04	2.816,80	0,00	788,5	40,0	2.816,80	828,48	60,83
13:00 - 14:00	755,00	2.649,99	2.649,99	166,81	788,5	40,0	2.649,99	995,29	50,64
14:00 - 15:00	676,00	2.372,71	2.372,71	444,09	788,5	40,0	2.372,71	1272,57	39,60
15:00 - 16:00	560,00	1.965,56	1.965,56	851,24	788,5	40,0	1.965,56	1.679,72	30,00
16:00 - 17:00	415,00	1.456,62	1.456,62	1.360,18	788,5	40,0	1.456,62	2.188,66	23,03
17:00 - 18:00	262,00	919,60	919,60	1.897,20	788,5	40,0	919,60	2.725,68	18,49
18:00 - 19:00	111,00	389,60	389,60	2.427,20	788,5	40,0	389,60	3.255,68	15,48
19:00 - 20:00	17,00	59,67	59,67	2.757,13	788,5	40,0	59,67	3.585,61	14,06

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



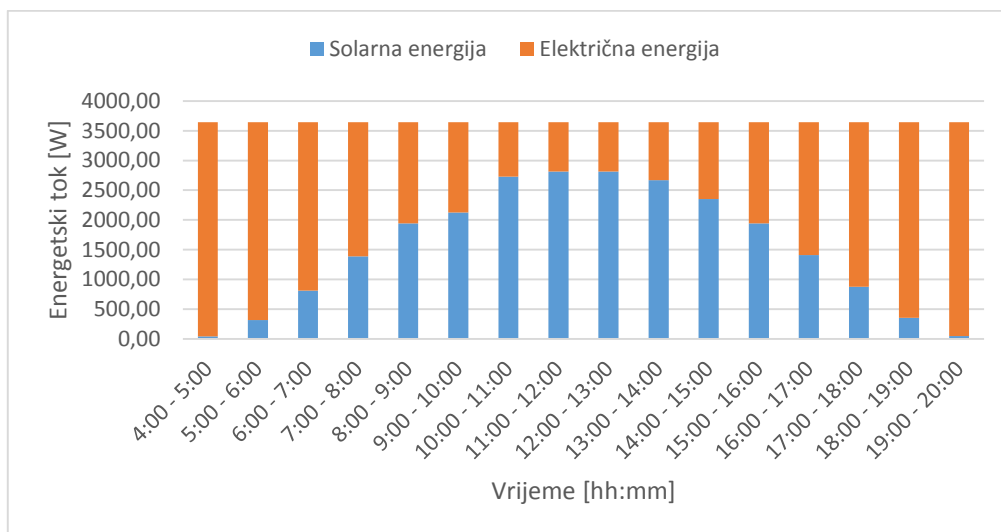
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



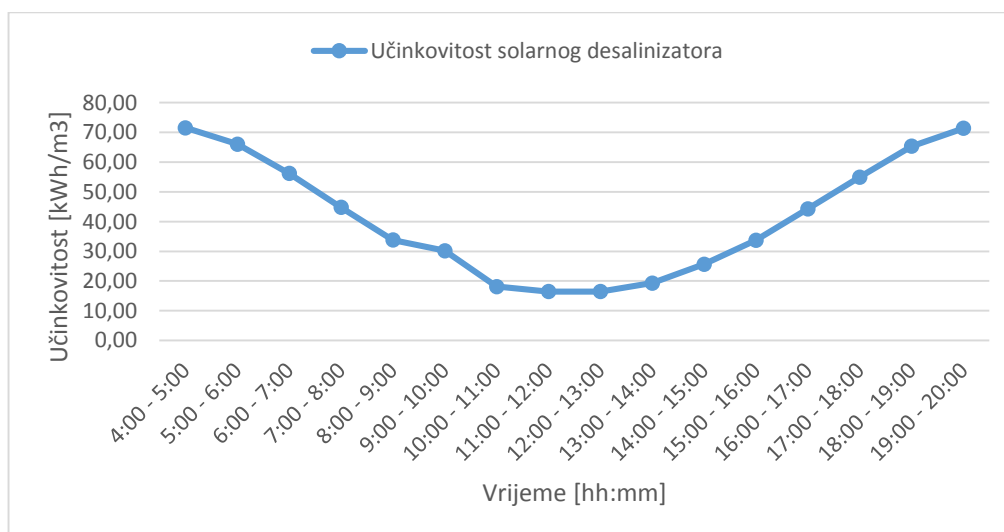
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec srpanj.

Srpanj									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	11,00	38,61	38,61	2.778,19	788,5	40,0	38,61	3606,67	13,97
5:00 - 6:00	90,00	315,89	315,89	2.500,91	788,5	40,0	315,89	3329,39	15,14
6:00 - 7:00	231,00	810,79	810,79	2.006,01	788,5	40,0	810,79	2834,49	17,78
7:00 - 8:00	395,00	1.386,42	1.386,42	1.430,38	788,5	40,0	1386,42	2258,86	22,31
8:00 - 9:00	553,00	1.940,99	1.940,99	875,81	788,5	40,0	1940,99	1704,29	29,57
9:00 - 10:00	605,00	2.123,50	2.123,50	693,30	788,5	40,0	2123,50	1521,78	33,12
10:00 - 11:00	778,00	2.730,72	2.730,72	86,08	788,5	40,0	2730,72	914,56	55,11
11:00 - 12:00	827,00	2.902,71	2.816,80	0,00	788,5	40,0	2816,80	828,48	60,83
12:00 - 13:00	821,00	2.881,65	2.816,80	0,00	788,5	40,0	2816,80	828,48	60,83
13:00 - 14:00	761,00	2.671,05	2.671,05	145,75	788,5	40,0	2671,05	974,23	51,73
14:00 - 15:00	670,00	2.351,65	2.351,65	465,15	788,5	40,0	2351,65	1293,63	38,96
15:00 - 16:00	554,00	1.944,50	1.944,50	872,30	788,5	40,0	1944,50	1700,78	29,63
16:00 - 17:00	402,00	1.410,99	1.410,99	1.405,81	788,5	40,0	1410,99	2234,29	22,56
17:00 - 18:00	249,00	873,97	873,97	1.942,83	788,5	40,0	873,97	2771,31	18,19
18:00 - 19:00	100,00	350,99	350,99	2.465,81	788,5	40,0	350,99	3294,29	15,30
19:00 - 20:00	13,00	45,63	45,63	2.771,17	788,5	40,0	45,63	3599,65	14,00

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



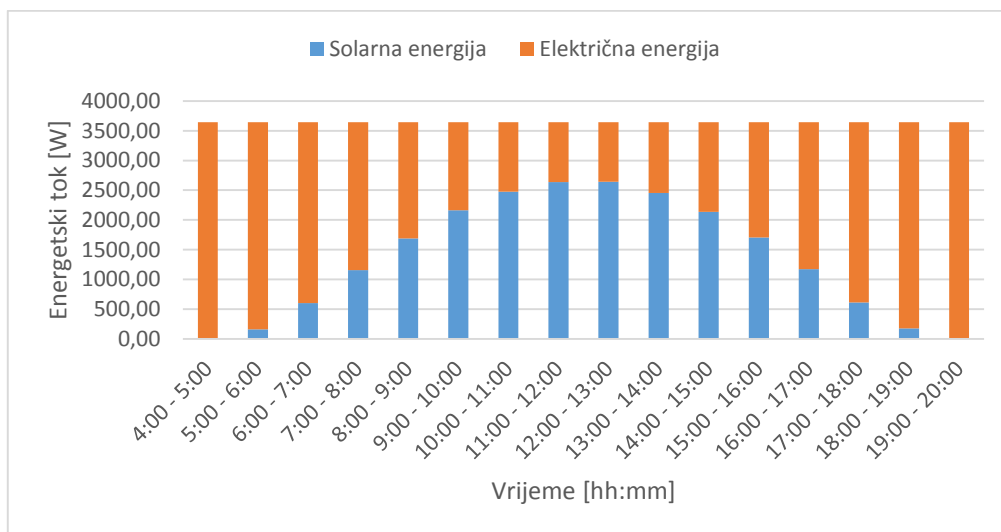
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



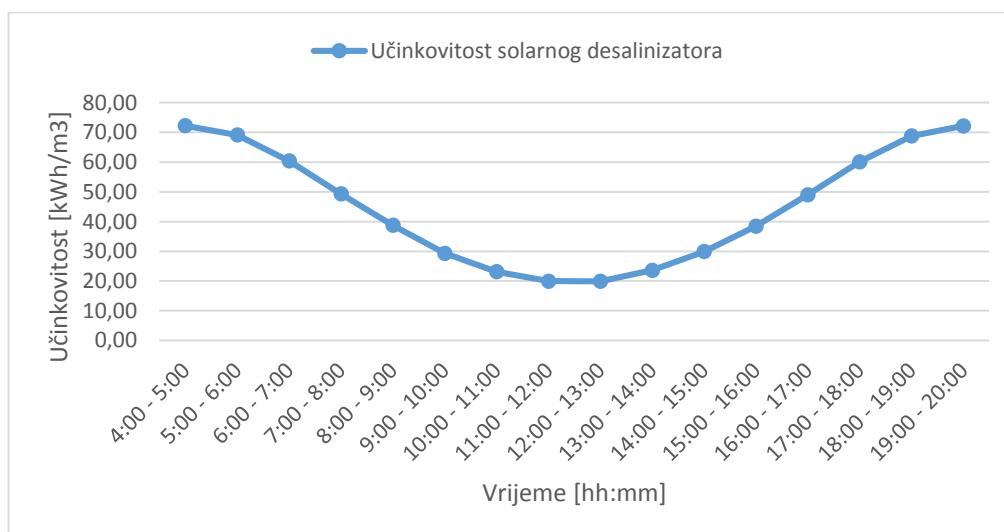
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec kolovoz.

Kolovoz									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	1,00	3,51	3,51	2.813,29	788,5	40,0	3,51	3641,77	13,84
5:00 - 6:00	46,00	161,46	161,46	2.655,34	788,5	40,0	161,46	3483,82	14,47
6:00 - 7:00	171,00	600,20	600,20	2.216,60	788,5	40,0	600,20	3045,08	16,55
7:00 - 8:00	330,00	1.158,27	1.158,27	1.658,53	788,5	40,0	1158,27	2487,01	20,27
8:00 - 9:00	482,00	1.691,78	1.691,78	1.125,02	788,5	40,0	1691,78	1953,50	25,80
9:00 - 10:00	617,00	2.165,62	2.165,62	651,18	788,5	40,0	2165,62	1479,66	34,06
10:00 - 11:00	706,00	2.478,00	2.478,00	338,80	788,5	40,0	2478,00	1167,28	43,18
11:00 - 12:00	752,00	2.639,46	2.639,46	177,34	788,5	40,0	2639,46	1005,82	50,11
12:00 - 13:00	753,00	2.642,97	2.642,97	173,83	788,5	40,0	2642,97	1002,31	50,28
13:00 - 14:00	699,00	2.453,44	2.453,44	363,36	788,5	40,0	2453,44	1191,84	42,29
14:00 - 15:00	609,00	2.137,54	2.137,54	679,26	788,5	40,0	2137,54	1507,74	33,43
15:00 - 16:00	486,00	1.705,82	1.705,82	1.110,98	788,5	40,0	1705,82	1939,46	25,99
16:00 - 17:00	334,00	1.172,31	1.172,31	1.644,49	788,5	40,0	1172,31	2472,97	20,38
17:00 - 18:00	175,00	614,24	614,24	2.202,56	788,5	40,0	614,24	3031,04	16,63
18:00 - 19:00	50,00	175,50	175,50	2.641,30	788,5	40,0	175,50	3469,78	14,53
19:00 - 20:00	2,00	7,02	7,02	2.809,78	788,5	40,0	7,02	3638,26	13,85

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



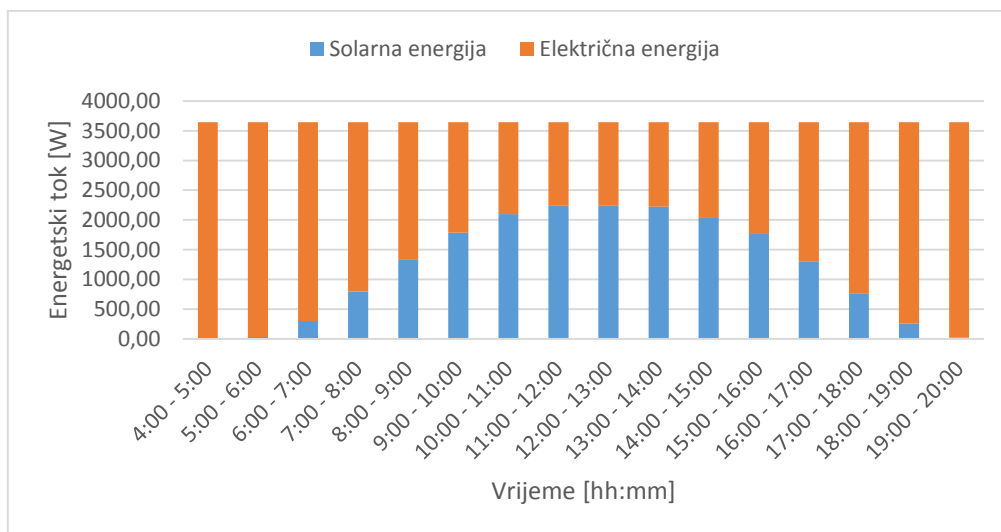
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



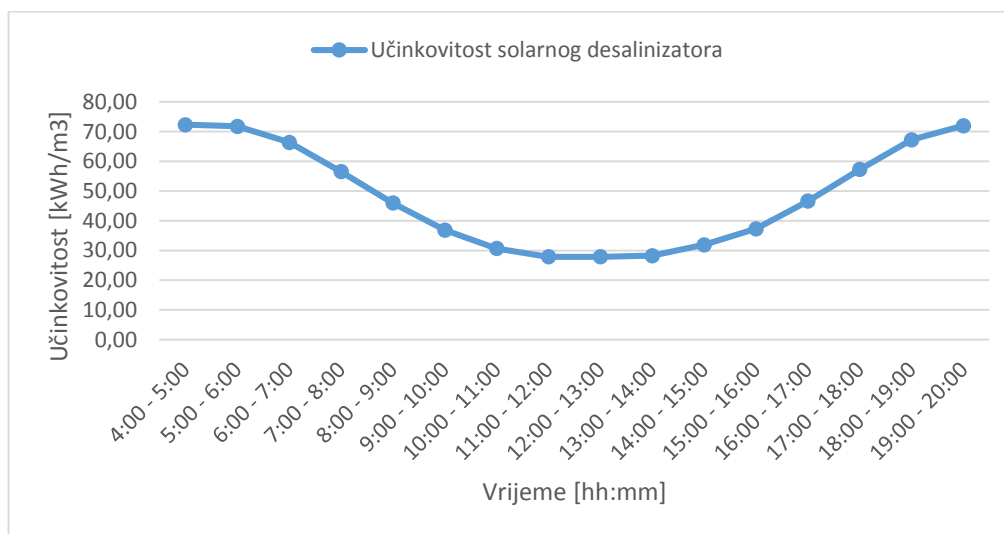
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec rujan.

Rujan									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
5:00 - 6:00	8,00	28,08	28,08	2.788,72	788,5	40,0	28,08	3617,20	13,93
6:00 - 7:00	85,00	298,34	298,34	2.518,46	788,5	40,0	298,34	3346,94	15,06
7:00 - 8:00	227,00	796,75	796,75	2.020,05	788,5	40,0	796,75	2848,53	17,69
8:00 - 9:00	378,00	1.326,75	1.326,75	1.490,05	788,5	40,0	1326,75	2318,53	21,74
9:00 - 10:00	509,00	1.786,55	1.786,55	1.030,25	788,5	40,0	1786,55	1858,73	27,12
10:00 - 11:00	598,00	2.098,93	2.098,93	717,87	788,5	40,0	2098,93	1546,35	32,59
11:00 - 12:00	638,00	2.239,33	2.239,33	577,47	788,5	40,0	2239,33	1405,95	35,85
12:00 - 13:00	638,00	2.239,33	2.239,33	577,47	788,5	40,0	2239,33	1405,95	35,85
13:00 - 14:00	633,00	2.221,78	2.221,78	595,02	788,5	40,0	2221,78	1423,50	35,41
14:00 - 15:00	580,00	2.035,75	2.035,75	781,05	788,5	40,0	2035,75	1609,53	31,31
15:00 - 16:00	503,00	1.765,49	1.765,49	1.051,31	788,5	40,0	1765,49	1879,79	26,81
16:00 - 17:00	369,00	1.295,16	1.295,16	1.521,64	788,5	40,0	1295,16	2350,12	21,45
17:00 - 18:00	216,00	758,14	758,14	2.058,66	788,5	40,0	758,14	2887,14	17,46
18:00 - 19:00	73,00	256,22	256,22	2.560,58	788,5	40,0	256,22	3389,06	14,87
19:00 - 20:00	5,00	17,55	17,55	2.799,25	788,5	40,0	17,55	3627,73	13,89

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



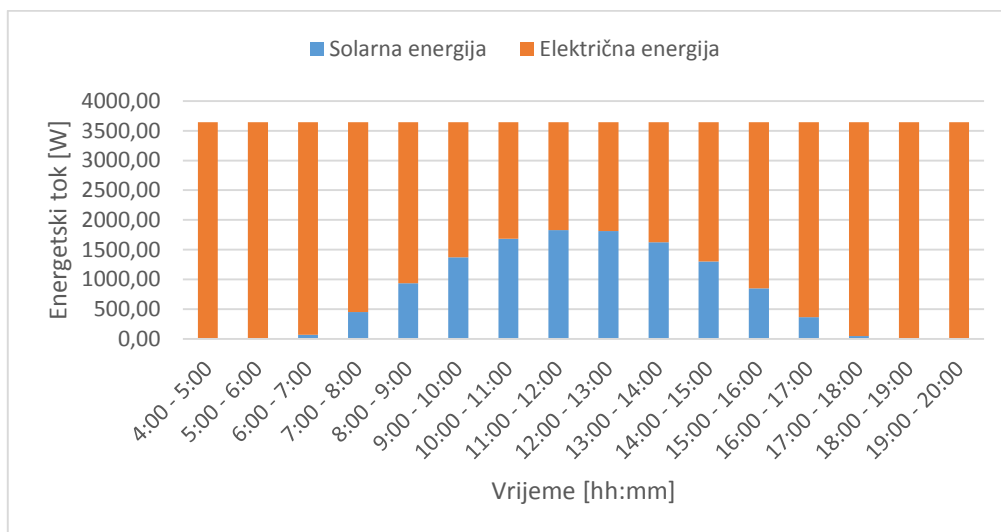
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



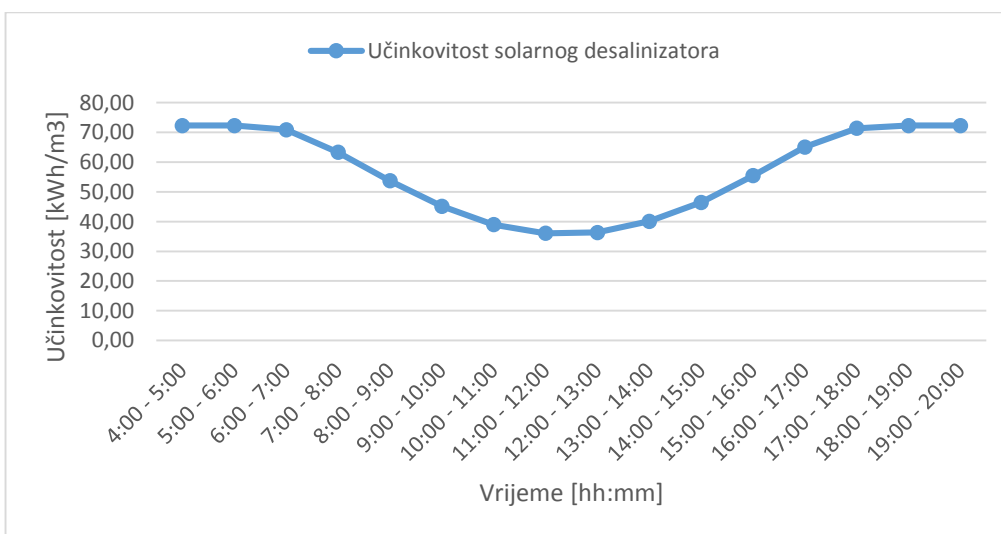
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec listopad.

Listopad									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
5:00 - 6:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
6:00 - 7:00	20,00	70,20	70,20	2.746,60	788,5	40,0	70,20	3575,08	14,10
7:00 - 8:00	129,00	452,78	452,78	2.364,02	788,5	40,0	452,78	3192,50	15,79
8:00 - 9:00	267,00	937,15	937,15	1.879,65	788,5	40,0	937,15	2708,13	18,61
9:00 - 10:00	390,00	1.368,87	1.368,87	1.447,93	788,5	40,0	1.368,87	2276,41	22,14
10:00 - 11:00	479,00	1.681,25	1.681,25	1.135,55	788,5	40,0	1.681,25	1964,03	25,66
11:00 - 12:00	521,00	1.828,67	1.828,67	988,13	788,5	40,0	1.828,67	1816,61	27,74
12:00 - 13:00	517,00	1.814,63	1.814,63	1.002,17	788,5	40,0	1.814,63	1830,65	27,53
13:00 - 14:00	463,00	1.625,09	1.625,09	1.191,71	788,5	40,0	1.625,09	2020,19	24,95
14:00 - 15:00	371,00	1.302,18	1.302,18	1.514,62	788,5	40,0	1.302,18	2343,10	21,51
15:00 - 16:00	242,00	849,40	849,40	1.967,40	788,5	40,0	849,40	2795,88	18,03
16:00 - 17:00	104,00	365,03	365,03	2.451,77	788,5	40,0	365,03	3280,25	15,36
17:00 - 18:00	13,00	45,63	45,63	2.771,17	788,5	40,0	45,63	3599,65	14,00
18:00 - 19:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
19:00 - 20:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



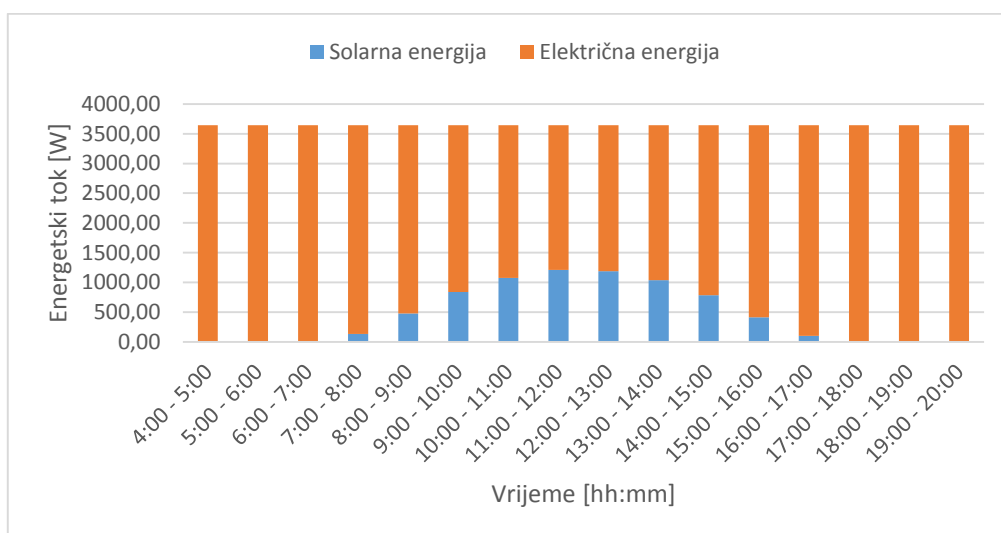
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



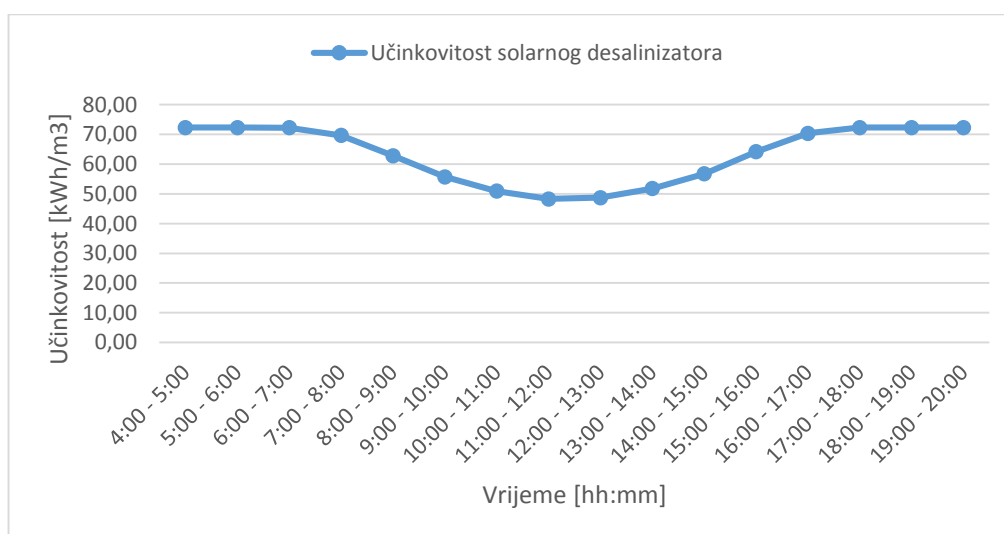
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec studeni.

Studeni									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
5:00 - 6:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
6:00 - 7:00	1,00	3,51	3,51	2.813,29	788,5	40,0	3,51	3641,77	13,84
7:00 - 8:00	38,00	133,38	133,38	2.683,42	788,5	40,0	133,38	3511,90	14,35
8:00 - 9:00	136,00	477,35	477,35	2.339,45	788,5	40,0	477,35	3167,93	15,91
9:00 - 10:00	238,00	835,36	835,36	1.981,44	788,5	40,0	835,36	2809,92	17,94
10:00 - 11:00	307,00	1.077,55	1.077,55	1.739,25	788,5	40,0	1.077,55	2567,73	19,63
11:00 - 12:00	345,00	1.210,92	1.210,92	1.605,88	788,5	40,0	1.210,92	2434,36	20,70
12:00 - 13:00	339,00	1.189,86	1.189,86	1.626,94	788,5	40,0	1.189,86	2455,42	20,53
13:00 - 14:00	295,00	1.035,43	1.035,43	1.781,37	788,5	40,0	1.035,43	2609,85	19,31
14:00 - 15:00	224,00	786,22	786,22	2.030,58	788,5	40,0	786,22	2859,06	17,63
15:00 - 16:00	117,00	410,66	410,66	2.406,14	788,5	40,0	410,66	3234,62	15,58
16:00 - 17:00	28,00	98,28	98,28	2.718,52	788,5	40,0	98,28	3547,00	14,21
17:00 - 18:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
18:00 - 19:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
19:00 - 20:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



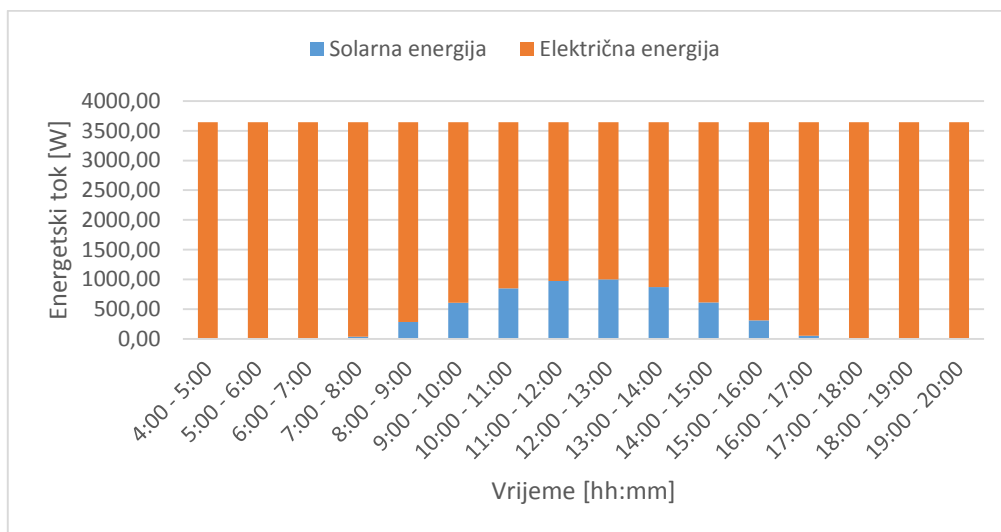
Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



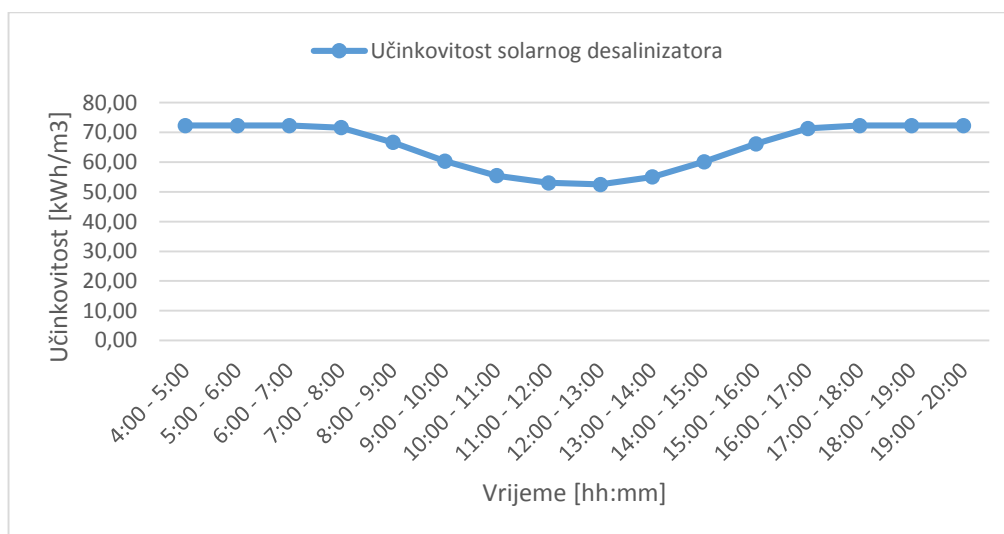
Prikaz vrijednosti dobiven simulacijom za mjesec prosinac.

Prosinac									
vrijeme	Insolacija	Snaga kolektora uk.	Snaga kolektora kor.	Snaga el. grijača	Snaga kompresora	Snaga pumpe	Solarna energija	Električna energija	Faktor efikas.
	W/m2	W	W	W	W	W	W	W	kg/kWh
4:00 - 5:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
5:00 - 6:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
6:00 - 7:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
7:00 - 8:00	10,00	35,10	35,10	2.781,70	788,5	40,0	35,10	3610,18	13,96
8:00 - 9:00	81,00	284,30	284,30	2.532,50	788,5	40,0	284,30	3360,98	15,00
9:00 - 10:00	172,00	603,71	603,71	2.213,09	788,5	40,0	603,71	3041,57	16,57
10:00 - 11:00	242,00	849,40	849,40	1.967,40	788,5	40,0	849,40	2795,88	18,03
11:00 - 12:00	277,00	972,25	972,25	1.844,55	788,5	40,0	972,25	2673,03	18,85
12:00 - 13:00	285,00	1.000,33	1.000,33	1.816,47	788,5	40,0	1000,33	2644,95	19,06
13:00 - 14:00	248,00	870,46	870,46	1.946,34	788,5	40,0	870,46	2774,82	18,16
14:00 - 15:00	175,00	614,24	614,24	2.202,56	788,5	40,0	614,24	3031,04	16,63
15:00 - 16:00	88,00	308,87	308,87	2.507,93	788,5	40,0	308,87	3336,41	15,11
16:00 - 17:00	14,00	49,14	49,14	2.767,66	788,5	40,0	49,14	3596,14	14,02
17:00 - 18:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
18:00 - 19:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83
19:00 - 20:00	0,00	0,00	0,00	2.816,80	788,5	40,0	0,00	3645,28	13,83

Usporedba potrošnje električne i toplinske energije



Učinkovitost sustava izražena u kWh električnom po m3 pitke vode



Prilog IV

Prikaz učinkovitosti sustava kroz cijelu
godinu po mjesecima prilikom promjene
broja kolektora

The chart displays the monthly heating efficiency (Učinkovitost) in kg/kWh over time (Vrijeme) for various months. The Y-axis represents Učinkovitost [kg/kWh] ranging from 10,00 to 40,00. The X-axis represents Vrijeme [hh:mm] ranging from 4:00 - 5:00 to 19:00 - 20:00. The legend identifies the months: Siječanj, Veljača, Ožujak, Travanj, Svibanj, Lipanj, Srpanj, Kolovoz, Rujan, Listopad, Studeni, and Prosinac.

Vrijeme [hh:mm]	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
4:00 - 5:00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
5:00 - 6:00	15,00	14,00	14,00	14,00	14,00	15,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
6:00 - 7:00	17,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
7:00 - 8:00	19,00	16,00	16,00	17,00	18,00	20,00	16,00	18,00	17,00	15,00	14,00	14,00
8:00 - 9:00	22,00	18,00	18,00	20,00	22,00	24,00	18,00	22,00	19,00	17,00	15,00	15,00
9:00 - 10:00	26,00	20,00	20,00	23,00	26,00	29,00	20,00	26,00	23,00	19,00	16,00	16,00
10:00 - 11:00	31,00	22,00	23,00	26,00	31,00	34,00	22,00	30,00	26,00	22,00	18,00	17,00
11:00 - 12:00	33,00	24,00	24,00	27,00	33,00	37,00	24,00	33,00	27,00	23,00	19,00	18,00
12:00 - 13:00	33,00	23,00	23,00	27,00	33,00	37,00	23,00	33,00	27,00	23,00	19,00	18,00
13:00 - 14:00	30,00	20,00	22,00	26,00	30,00	33,00	20,00	30,00	27,00	21,00	17,00	17,00
14:00 - 15:00	26,00	18,00	21,00	23,00	26,00	29,00	18,00	26,00	25,00	19,00	16,00	16,00
15:00 - 16:00	22,00	16,00	18,00	20,00	22,00	24,00	16,00	22,00	22,00	17,00	15,00	15,00
16:00 - 17:00	19,00	14,00	16,00	17,00	19,00	20,00	14,00	19,00	19,00	15,00	14,00	14,00
17:00 - 18:00	17,00	13,00	14,00	15,00	17,00	17,00	13,00	17,00	16,00	14,00	13,00	13,00
18:00 - 19:00	15,00	12,00	13,00	14,00	15,00	15,00	12,00	15,00	14,00	13,00	12,00	12,00
19:00 - 20:00	14,00	11,00	12,00	13,00	14,00	14,00	11,00	14,00	13,00	12,00	11,00	11,00

Učinkovitost [kg/kWh]

Vrijeme [hh:mm]

Legend:

- Siječanj
- Veljača
- Ožujak
- Travanj
- Svibanj
- Lipanj
- Srpanj
- Kolovoz
- Rujan
- Listopad
- Studeni
- Prosinac

Učinkovitost [kg/kWh]

Vrijeme [hh:mm]

Siječanj Veljača Ožujak Travanj Svibanj Lipanj Srpanj Kolovoz Rujan Listopad Studeni Prosina